

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

corr do EP 0 452 470

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-12952

(P2000-12952A)

(43) 公開日 平成12年1月14日 (2000.1.14)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード (参考)

H 0 1 S 5/22

6 1 0

H 0 1 S 3/18

6 6 9

G 0 2 B 6/122

G 0 2 B 6/12

B

審査請求 有 請求項の数27 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号

特願平11-116490

(22) 出願日

平成11年4月23日 (1999. 4. 23)

(31) 優先権主張番号

特願平10-113051

(32) 優先日

平成10年4月23日 (1998. 4. 23)

(33) 優先権主張国

日本 (J P)

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 工藤 耕治

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株

式会社内

(74) 代理人 100084250

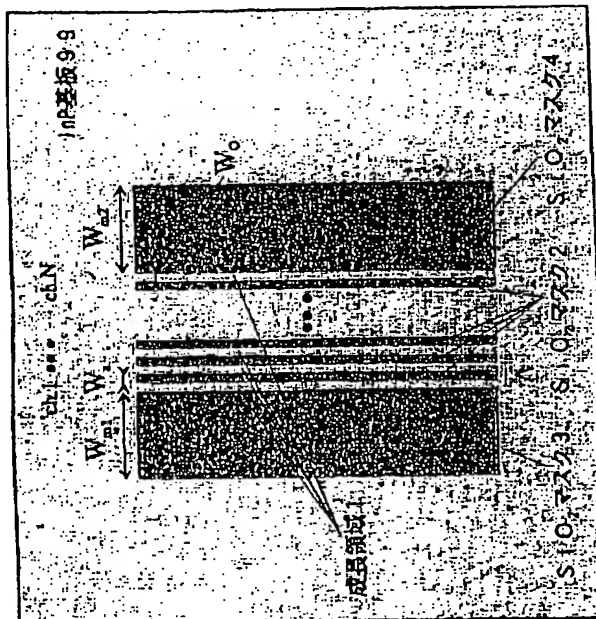
弁理士 丸山 隆夫

(54) 【発明の名称】 半導体光導波路アレイの製造方法及びアレイ構造半導体光素子

(57) 【要約】

【課題】 1 ウエハからの素子収量を大幅に増大でき、且つ均一で高性能な特性を有する超高集積化された半導体光導波路アレイの製造方法を提供する。

【解決手段】 本方法は、ストライプ状成長領域に、量子井戸層を有する半導体多層構造、またはバルク層からなる半導体多層構造を選択的に結晶成長させてなる光導波路を複数本アレイ状に備えた半導体光導波路アレイの製造方法である。本方法では、並列に延在する複数本のストライプ状成長領域をそれぞれ誘電体薄膜で挟んで形成し、各成長領域に選択的に半導体多層構造を有機金属気相成長法により結晶成長させる際、各成長領域が、結晶成長時の反応管内での原料種の拡散長よりも短い間隔で並列に形成されており、各成長領域の間に配設された誘電体薄膜の幅は W_a であり、2本の最外側の成長領域の各々の外側に配設された第1最外誘電体薄膜の幅 W_{m1} 及び第2最外誘電体薄膜の幅 W_{m2} が、それぞれ、 $W_{m1} > W_a$ 及び $W_{m2} > W_a$ である。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に誘電体薄膜に挟まれて形成されたストライプ状成長領域に、量子井戸層を有する半導体多層構造、またはバルク層からなる半導体多層構造を選択的に結晶成長させてなる光導波路を複数本アレイ状に備えた半導体光導波路アレイの製造方法において、並列に延在する複数本のストライプ状成長領域をそれぞれ誘電体薄膜で挟んで形成し、各成長領域に選択的に量子井戸層を有する半導体多層構造、またはバルク層からなる半導体多層構造を有機金属気相成長法により結晶成長させる際、

前記各成長領域が、結晶成長時の反応管内での原料種の拡散長よりも短い間隔で並列に形成されており、前記各成長領域の間に配設された誘電体薄膜の幅は W_a であり、2本の最外側の成長領域の外側にそれぞれ配設された第1最外誘電体薄膜の幅 W_{m1} 及び第2最外誘電体薄膜の幅 W_{m2} が、 $W_{m1} > W_a$ 及び $W_{m2} > W_a$ であることを特徴とする半導体光導波路アレイの製造方法。

【請求項 2】 前記第1最外誘電体薄膜の幅 W_{m1} と前記第2最外誘電体薄膜の幅 W_{m2} とを $W_{m1} \neq W_{m2}$ にすることにより、アレイを構成する各半導体光導波路の組成または層厚を変化させることを特徴とする請求項 1 記載の半導体光導波路アレイの製造方法。

【請求項 3】 前記複数本の成長領域によってそれぞれ挟まれた各領域は、誘電体薄膜によって完全に被覆されていることを特徴とする請求項 1 及び 2 記載の半導体光導波路アレイの製造方法。

【請求項 4】 前記複数本の成長領域の各々の隣同士の間隔が、 $50 \mu m$ 以下であることを特徴とする請求項 1 から 3 のうちのいずれか 1 項記載の半導体光導波路アレイの製造方法。

【請求項 5】 前記複数本の成長領域の各々の幅が、 $10 \mu m$ 以下であることを特徴とする請求項 1 から 4 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体光導波路アレイの製造方法。

【請求項 6】 前記複数本の成長領域の本数、または前記誘電体薄膜の幅 W_a 、 W_{m1} 及び W_{m2} のうち少なくともいずれか一つを前記成長領域の長手方向に沿って変化させることにより、アレイを構成する各光導波路の組成または層厚を前記成長領域の長手方向に沿って変化させるようにしたことを特徴とする請求項 1 から 5 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体光導波路アレイの製造方法。

【請求項 7】 前記複数本の成長領域の各間隔を前記成長領域の長手方向に沿って変化させることにより、各半導体光導波路の間隔を変化させることを特徴とする請求項 1 から 6 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体光導波路アレイの製造方法。

【請求項 8】 前記複数本の各成長領域の幅、各成長領域の間隔、誘電体薄膜の幅 W_a 、 W_{m1} 、及び W_{m2} のうち少なくともいずれか一つが、基板上に形成された半導体

光導波路アレイ相互間で異なることを特徴とする請求項 1 から 7 のうちのいずれか 1 項に記載の半導体光導波路アレイの製造方法

【請求項 9】 基板上に誘電体薄膜に挟まれて形成されたストライプ状成長領域に、量子井戸層を有する半導体多層構造、またはバルク層からなる半導体多層構造を選択的に結晶成長してなる光導波路を備えた半導体光素子において、

前記光導波路が、結晶成長時の反応管内の原料種の拡散長よりも短い間隔で複数本アレイ状に配設されていることを特徴とするアレイ構造半導体光素子。

【請求項 10】 前記アレイ状に配設された光導波路のアレイ本数が、16以下であることを特徴とする請求項 9 に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 11】 前記光導波路が、 $50 \mu m$ 以下の間隔にて複数本アレイ状に配設されたことを特徴とする請求項 9 記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 12】 前記光導波路の幅が $10 \mu m$ 以下であり、光導波路の側壁が選択成長により形成された (111) B 結晶面であることを特徴とする請求項 9 から 11 に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 13】 選択的に成長された結晶のバンドギャップエネルギー、又は層厚から選択される少なくとも一つが、隣り合う光導波路間で異なることを特徴とする請求項 9 から 12 のいずれか 1 項に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 14】 前記アレイ状光導波路が、半導体バルク活性層からなり、電流注入により光学利得を生じさせる光増幅器の機能を有することを特徴とする請求項 9 から 13 のいずれか 1 項に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 15】 前記アレイ状光導波路が、多重量子井戸層 (MQW) からなり、光導波路の両端または光導波路の近傍に光の反射機構を有し、電流注入により光学利得を生じさせることにより、レーザ発振させることを特徴とする請求項 9 から 13 のうちのいずれか 1 項に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 16】 光の反射機能が光導波路の近傍に設けられた回折格子によって生じること特徴とする請求項 9 から 13、又は 15 のいずれか 1 項に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 17】 前記回折格子の周期が隣り合う光導波路間で異なることを特徴とする請求項 16 に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 18】 前記アレイ状光導波路の少なくとも一方の端に光のスポットサイズ変換器が集積されたことを特徴とする請求項 9 から 17 のうちのいずれか 1 項に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項 19】 前記アレイ状光導波路の少なくとも一方の端に、スターカップラ、多モード干渉器 (MMI、

3

Multi Mode Interference) から選択される少なくとも1つの光合波器を集積したことを特徴とする請求項9から18のいずれか1項に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項20】 前記アレイ構造半導体光素子が、発振波長970から990nmの範囲の半導体レーザアレイであることを特徴とする請求項9から12、または15から18のいずれか1項に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項21】 前記アレイ構造半導体光素子が、発振波長1450から1510nmの範囲の半導体レーザアレイであることを特徴とする請求項9から12または15から18のいずれか1項に記載のアレイ構造半導体光素子。

【請求項22】 請求項14又は15に記載のアレイ構造半導体光素子と、回折格子等が形成された石英系Planar Lightwave Circuit (PLC) とが、ハイブリッド集積されたことを特徴とする複合共振器型多波長光源。

【請求項23】 請求項9から22のうちのいずれか1項に記載されたアレイ構造半導体光素子の少なくとも一個が用いられていることを特徴とする光モジュール。

【請求項24】 さらにアレイ状に配設された半導体光素子からの光出力を実質的に全集光する光学素子と、該光出力を取出すことを特徴とする請求項23に記載の光モジュール。

【請求項25】 少なくともアレイ構造半導体光素子と、該アレイ構造半導体光素子からの光出力を導出する光ファイバと、当該アレイ構造半導体光素子からの光出力をモニタする受光素子と、からなる光モジュールであって、

前記アレイ構造半導体光素子が、請求項9から21のいずれか1項に記載のアレイ構造半導体光素子から選択された少なくとも1つのアレイ構造半導体光素子であり、該アレイ構造半導体光素子から出射された実質的に全光を前記光ファイバにより導出することを特徴とする光モジュール。

【請求項26】 アレイ状に配設された半導体光素子からの光出力された波長を制御する波長フィルタをさらに有することを特徴とする請求項23から25のいずれか1項に記載の光モジュール。

【請求項27】 請求項9から21のいずれか1項に記載されたアレイ構造半導体光素子の少なくとも1個が用いられていることを特徴とする光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体光導波路アレイの製造方法及びアレイ構造半導体光素子に関し、更に詳細には、均一な光素子特性を有し、しかも従来に比べて大幅にアレイサイズを縮小した半導体光導波路アレイの製造方法及びその方法により製造されたアレイ構造

4

半導体光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 波長多重 (WDM) 光通信システムの実用化のためには、システムのキーデバイスである異波長光源や波長選択光源を低コストで供給する技術を開発することが必要不可欠である。なかでも、システムの使用側で任意の発振波長を選択できる波長選択光源は、その使用上の簡便さから、システムの実用化のために強く望まれている光源の一つである。波長選択光源の一つの形態として、複数の相互に波長の異なる異波長光源を1チップ上にモノリシック集積することが考えられており、その一例として、異波長半導体レーザアレイが開発されつつある。

【0003】 従来の異波長半導体レーザアレイの代表的な作製方法の一つは、文献 IEE Electronics Letters Vol. 28, no. 9, pp. 824-825 (以下、参照する際には、文献(1)とする) に報告されている作製方法である。この方法では、まず、通常の有機金属気相成長法 (MOVPE) 等により、InP等のウエハ上に、多重量子井戸 (MQW) 等の活性層、及び光導波層を成長し、光導波層上に、異なる周期の回折格子を電子ビーム露光法等で形成する。その後、高抵抗埋め込み等によって電流ブロック構造を形成し、アレイを構成する各半導体レーザをドライエッチング等により加工して電氣的に分離し、異波長半導体レーザアレイを構成する。この異波長半導体レーザアレイでは、異周期回折格子によって、アレイを構成する各半導体レーザをそれぞれ異なる波長で、即ち各回折格子のブラッグ波長に相当する波長で発振させることが可能となる。

【0004】 しかし、この方法では、MQW活性層の利得ピーク波長がアレイ内で一定であるから、回折格子の周期で決定される半導体レーザのブラッグ波長が変化し、そのため、利得ピーク波長からずれるに従って、発振時の光出力、しきい値電流等のレーザ特性が劣化するという問題があつて、異波長半導体レーザアレイを構成する全ての半導体レーザから良好なレーザ特性を得るようにすることはできなかった。

【0005】 この問題は、特開平8-153928 (以下、参照する際には、文献(2)とする) に開示された異波長半導体レーザアレイの作製方法によって解決することができる。この方法は、半導体レーザの利得を発生するMQW活性層の成長に選択成長を用いる方法である。この方法を用いると、回折格子で決定される各半導体レーザの発振波長に、MQW活性層の利得ピーク波長を常に追従させることができ、異波長半導体レーザアレイを構成する全ての半導体レーザから、低しきい値電流、高出力等の均一で良好なレーザ特性を得ることができる。

【0006】 このように、良好な特性を有する異波長半導体レーザアレイを実現するためには、1) 発振波長を

変化させるための異周期回折格子を形成する技術と、
2) 異周期回折格子の各ブラッグ波長の変化にMQW活性層の利得ピーク波長を追従させる技術の両者が必要不可欠といえる。この点から考えると、上記文献(2)に開示された技術、即ち1) 電子ビーム露光技術と、2) 選択成長技術を組み合わせた作製方法は、高性能な異波長半導体レーザアレイを作製する上で必要な二つの必要条件を満足することのできる技術といえる。

【0007】しかし、この文献(2)の方法を用いて作製する異波長半導体レーザアレイ等のアレイ構造半導体光素子には、素子を低コストで供給する上で致命的な問題があった。即ち、アレイ構造半導体光素子全体のサイズの拡大である。文献(2)に示された作製方法で、例えば、異波長半導体レーザアレイを作製した場合、アレイを構成する各半導体レーザの素子間隔は、 $250\mu\text{m}$ 程度となる。その結果、共振器長 $300\mu\text{m}$ の8本(8波長)の異波長半導体レーザアレイを作製した場合、アレイ素子全体のサイズは、 $2\text{mm} \times 300\mu\text{m}$ 程度にもなってしまう。この原因は、文献(2)に示された選択成長技術が、アレイを構成する各光導波路を挟んで、各々幅 $40\mu\text{m}$ 程度の誘電体マスクを用いることを必要とするため、隣り合うアレイ光導波路間で相互に誘電体マスクが影響を与えないようにするには、最低でも $200\mu\text{m}$ 程度以上のアレイ間隔が必要になるからである。従って、文献(2)の異波長半導体レーザアレイの製造方法では、本質的にアレイ間隔を狭くすることができない。このため、ウエハ1枚からのアレイ素子の収量は、半導体レーザ1素子の収量の $1/8$ 以下になり、著しいコストの増大を招き、異波長半導体レーザアレイ等のアレイ構造半導体光素子を実用化する上で深刻な問題であった。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】このように、文献

(1)、(2)等の異波長半導体レーザアレイの従来の作製方法では、1) アレイを構成する全ての半導体レーザから良好で均一な特性を得ることができないこと、更には、2) 異波長半導体レーザアレイの素子サイズが大きくなり、1枚のウエハからの収量が減少し、素子コストの著しい増大を招くこと、等の問題があった。

【0009】本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであって、その目的は、アレイサイズの微細化を可能とする半導体光導波路アレイの製造方法を提供することであり、また、アレイ構造半導体光素子において、微細化された半導体光導波路アレイからなり、良好で均一な特性を有するアレイ構造半導体光素子を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者は、後述する実験例1～3を含む多数の実験を重ねて、誘電体薄膜の幅を特定することにより、アレイサイズを微細化し、ま

た、アレイを構成する隣り合う光導波路間で組成及び層厚を変化させることにより、均一な光素子特性を得ることができていることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0011】上記の目的を達成するために、本発明に係る半導体光導波路アレイの製造方法は、基板上に誘電体薄膜に挟まれて形成されたストライプ状成長領域に、量子井戸層を有する半導体多層構造、またはバルク層からなる半導体多層構造を選択的に結晶成長させてなる光導波路を複数本アレイ状に備えた半導体光導波路アレイの製造方法において、並列に延在する複数本のストライプ状成長領域をそれぞれ誘電体薄膜で挟んで形成し、各成長領域に選択的に量子井戸層を有する半導体多層構造、またはバルク層からなる半導体多層構造を有機金属気相成長法により結晶成長させる際、前記各成長領域が、結晶成長時の反応管内での原料種の拡散長よりも短い間隔で並列に形成されており、前記各成長領域の間に配設された誘電体薄膜の幅は W_a であり、2本の最外側の成長領域の外側にそれぞれ配設された第1最外誘電体薄膜の幅 W_{m1} 及び第2最外誘電体薄膜の幅 W_{m2} が、 $W_{m1} > W_a$ 及び $W_{m2} > W_a$ であることを特徴としている。

【0012】また請求項2に記載の発明は、請求項1において、前記第1最外誘電体薄膜の幅 W_{m1} と前記第2最外誘電体薄膜の幅 W_{m2} とを $W_{m1} \neq W_{m2}$ にすることにより、アレイを構成する各半導体光導波路の組成または層厚を変化させることを特徴としている。

【0013】また請求項3に記載の発明は、請求項1及び2において、前記複数本の成長領域によってそれぞれ挟まれた各領域は、誘電体薄膜によって完全に被覆されていることを特徴としている。

【0014】また請求項4に記載の発明は、請求項1ないし3のいずれか1項において、前記複数本の成長領域の各々の隣同士の間隔が、 $50\mu\text{m}$ 以下であることを特徴としている。

【0015】また請求項5に記載の発明は、請求項1ないし4のいずれか1項において、前記複数本の成長領域の各々の幅が、 $10\mu\text{m}$ 以下であることを特徴としている。

【0016】また請求項6に記載の発明は、請求項1ないし5のいずれか1項において、前記複数本の成長領域の本数、または前記誘電体薄膜の幅 W_a 、 W_{m1} 及び W_{m2} のうち少なくともいずれか一つを前記成長領域の長手方向に沿って変化させることにより、アレイを構成する各光導波路の組成または層厚を前記成長領域の長手方向に沿って変化させるようにしたことを特徴としている。

【0017】また請求項7に記載の発明は、請求項1ないし6のいずれか1項において、前記複数本の成長領域の各間隔を前記成長領域の長手方向に沿って変化させることにより、各半導体光導波路の間隔を変化させることを特徴としている。

【0018】また請求項8に記載の発明は、請求項1ないし7のいずれか1項において、前記複数本の各成長領域の幅、各成長領域の間隔、誘電体薄膜の幅 W_a 、 W_{m1} 、及び W_{m2} のうち少なくともいずれか一つが、基板上に形成された半導体光導波路アレイ相互間で異なることを特徴としている。

【0019】本発明に係るアレイ構造半導体光素子は、基板上に誘電体薄膜に挟まれて形成されたストライプ状成長領域に、量子井戸層を有する半導体多層構造、またはバルク層からなる半導体多層構造を選択的に結晶成長してなる光導波路を備えた半導体光素子において、前記光導波路が、結晶成長時の反応管内の原料種の拡散長よりも短い間隔で複数本アレイ状に配設されていることを特徴としている。

【0020】また請求項10に記載の発明は、請求項9において、前記アレイ状に配設された光導波路のアレイ本数が、16以下であることを特徴としている。

【0021】また請求項11に記載の発明は、請求項9において、前記光導波路が、 $50\mu\text{m}$ 以下の間隔にて複数本アレイ状に配設されたことを特徴としている。

【0022】また請求項12に記載の発明は、請求項9から11のいずれか1項において、前記光導波路の幅が $10\mu\text{m}$ 以下であり、光導波路の側壁が選択成長により形成された(111)B結晶面であることを特徴とする。

【0023】また請求項13に記載の発明は、請求項9から12のいずれか1項において、選択的に成長された結晶のバンドギャップエネルギー、又は層厚のうちの少なくとも一つが、隣り合う光導波路間で異なることを特徴としている。

【0024】また請求項14に記載の発明は、請求項9から13のいずれか1項において、前記アレイ状光導波路が、半導体バルク活性層からなり、電流注入により光学利得を生じさせる光増幅器の機能を有することを特徴としている。

【0025】また請求項15に記載の発明は、請求項9から13のいずれか1項において、前記アレイ状光導波路が、多重量子井戸層(MQW)からなり、光導波路の両端または光導波路の近傍に光の反射機構を有し、電流注入により光学利得を生じさせることにより、レーザ発振させることを特徴としている。

【0026】また請求項16に記載の発明は、請求項9から13、又は15のいずれか1項において、光の反射機能が光導波路の近傍に設けられた回折格子によって生じることを特徴としている。

【0027】また請求項17に記載の発明は、請求項16において、前記回折格子の周期が隣り合う光導波路間で異なることを特徴としている。

【0028】また請求項18に記載の発明は、請求項9から17のいずれか1項において、前記アレイ状光導波

路の少なくとも一方の端に光のスポットサイズ変換器が集積されたことを特徴としている。

【0029】また請求項19に記載の発明は、請求項9から18のいずれか1項において、前記アレイ状光導波路の少なくとも一方の端に、スターカップラ、多モード干渉器(MMI、Multi Mode Interference)から選択される少なくとも1つの光合波器を集積したことを特徴としている。

【0030】また請求項20に記載の発明は、請求項9から12または15から18のいずれか1項において、前記アレイ構造半導体光素子が、発振波長 970 から 990nm の範囲の半導体レーザアレイであることを特徴としている。

【0031】また請求項21に記載の発明は、請求項9から12または15から18のいずれか1項において、前記アレイ構造半導体光素子が、発振波長 1450 から 1510nm の範囲の半導体レーザアレイであることを特徴としている。

【0032】本発明に係る複合共振器型多波長光源は、請求項14又は15に記載のアレイ構造半導体光素子と、回折格子等が形成された石英系Planer Lightwave Circuit(PLC)とが、ハイブリッド集積されたことを特徴としている。

【0033】本発明に係る光モジュールは、請求項9から22のうちのいずれか1項に記載されたアレイ構造半導体光素子の少なくとも一個が用いられていることを特徴としている。

【0034】また請求項24に記載の発明は、請求項23において、さらにアレイ状に配設された半導体光素子からの光出力を実質的に全集光する光学素子と、該光出力を取出すことを特徴としている。

【0035】また本発明に係る光モジュールは、少なくともアレイ構造半導体光素子と、該アレイ構造半導体光素子からの光出力を導出する光ファイバと、当該アレイ構造半導体光素子からの光出力をモニタする受光素子と、からなる光モジュールであって、前記アレイ構造半導体光素子が、請求項9から21のいずれか1項に記載のアレイ構造半導体光素子から選択された少なくとも1つのアレイ構造半導体光素子であり、該アレイ構造半導体光素子から出射された実質的に全光を前記光ファイバにより導出することを特徴としている。

【0036】また請求項26に記載の発明は、請求項23から25のいずれか1項において、アレイ状に配設された半導体光素子からの光出力された波長を制御する波長フィルタをさらに有することを特徴としている。

【0037】本発明に係る光通信システムは、請求項9から21のうちのいずれか1項に記載されたアレイ構造半導体光素子の少なくとも1個が用いられていることを特徴としている。

【0038】本発明方法では、選択成長用のマスクとし

て、図1に示すような寸法と配置の SiO_2 を使用する。図1は本発明の選択成長で用いる SiO_2 成長阻止マスクパターンを示す。 SiO_2 マスクは、選択成長用のマスクであって、InP基板99上に形成し、複数本のストライプ状成長領域1を挟んで、幅 W_a の SiO_2 マスク2、幅 W_{m1} の SiO_2 マスク3、幅 W_{m2} の SiO_2 マスク4からなる。このとき、各々の成長領域の幅 W_0 は、 $1.5\mu\text{m}$ に設定されている。以後、図1に示すようなマスクパターンを用いて、アレイ状成長領域に選択的に結晶を成長する本発明の選択成長法を、簡単のため“狭幅マイクロアレイ選択成長”と称する。狭幅マイクロアレイ選択成長では、結晶成長時の原料種の拡散長よりも短い任意のアレイ間隔で並べられた複数本の狭幅（ $1.5\mu\text{m}$ 幅）のストライプ状選択成長領域1に、多重量子井戸（MQW）等の結晶層を選択的に成長する。各成長領域1に成長される結晶のバンドギャップ波長は、基本的に、最も外側に配設した SiO_2 マスク3、4の幅 W_{m1} と W_{m2} を変化させることで制御できる。但し、後述するように、 SiO_2 マスク2の幅 W_a も成長領域に成長される結晶の組成及び層厚に少なからず影響を与えるパラメータである。

【0039】実験例1

実験例1では、まず、狭ストライプ幅（ $1.5\mu\text{m}$ 幅）のアレイ状成長領域1の本数を8本（8チャンネル）、アレイ間隔 $\Lambda=11.5\mu\text{m}$ とし、図2に示すように、 $1.50\mu\text{m}$ 組成圧縮歪InGaAsPウエル/ $1.20\mu\text{m}$ 組成InGaAsPバリアの多層構造からなる多重量子井戸（MQW）層を有機金属気相成長法（MOVPE）により選択成長した。尚、図2は各チャンネルの積層構造を示す。成長条件は、圧力150Torr、温度650℃であり、 SiO_2 マスク2、3、4の幅は、それぞれ $W_a=10\mu\text{m}$ 、 $W_{m1}=W_{m2}=W_m$ として、 W_m の値を5～60 μm の間で変化させ、MQW層のフォトルミネッセンス（PL）ピーク波長の SiO_2 マスク幅 W_m 依存性を調べ、その結果を図3に示した。図3は、MQW層のフォトルミネッセンス（PL）ピーク波長の SiO_2 マスク幅 W_m 依存性を示して、横軸にチャンネル番号、縦軸にはMQW層のフォトルミネッセンス（PL）ピーク波長を取っている。図3から判る通り、 $W_{m1}=W_{m2}$ の場合、アレイ内の波長分布は、ch4ないしch5を中心にしてch1～ch8で完全に対称になる。また、PLピーク波長のチャンネル内分布の中心値は、 SiO_2 マスクの幅 W_m を拡大させることで、短波長から長波長へと100nm以上の波長域に亘り変化させることができる。但し、全チャンネルでほぼ均一なPLピーク波長分布を得るには、マスク幅 W_m は、 W_a と等しいか、ある程度広くしなければならない。

【0040】次に、マスク幅 W_m に対する光導波層の層厚依存性を調べ、その結果を図4に示した。図4では、横軸にチャンネル番号、縦軸に光導波層の厚さを取って

いる。図4から判る通り、 SiO_2 マスクの幅 W_m を拡大するにしたがって、光導波層の層厚が厚くなる。層厚分布は、図3のPLピーク波長分布と対応してほぼ同じ分布形状をしており、光導波層の層厚も SiO_2 マスクの幅 W_m を変化させることで制御できることがわかった。

【0041】実験例2

次に、実験例2として、 $W_{m1} \neq W_{m2}$ の非対称なマスクを用いた場合の、各チャンネルのPLピーク波長依存性を調べ、その結果を図5に示した。図5では、横軸にチャンネル番号、縦軸にフォトルミネッセンス（PL）ピーク波長を取っている。図5から判る通り、 $W_{m1}=10\mu\text{m}$ 、 $W_{m2}=70\mu\text{m}$ のマスクを用いた場合、アレイ内のch1～ch8間で、PLピーク波長を、ほぼ線形に1480～1580nmまで100nmの波長域に亘り変化させることができる。また、 $W_{m1}=10\mu\text{m}$ 、 $W_{m2}=70\mu\text{m}$ のマスクを用いたときに得られたPLスペクトルを図6に示す。全チャンネルで、強いPL強度が維持され、またPL半値幅も十分狭い値が得られた。図6では、横軸に波長、縦軸に強度を取っている。一方、マスク幅の組み合わせとして、 $W_{m1}=10\mu\text{m}$ 、 $W_{m2}=30\mu\text{m}$ を用いた場合は、図5に示すように、ch1～ch8間でのPLピーク波長の変化率をより緩やかにすることができる。これらの結果は、狭幅マイクロアレイ選択成長では、 SiO_2 マスクの幅 W_{m1} と W_{m2} の組み合わせを適切に選ぶことにより、極めて狭い間隔で配設された半導体光導波路アレイの各MQW光導波路のバンドギャップ波長を任意に制御できることを意味している。このように、本発明の狭幅マイクロアレイ選択成長技術が、極小間隔アレイデバイスのバンドギャップ波長、及び層厚制御に対して極めて有効であることが確認された。

【0042】実験例3

最後に、実験例3で、複数本のストライプ状成長領域の間に配設されている SiO_2 マスク2の幅 W_a が、選択成長される結晶組成に与える影響について調べ、その結果を図7に示した。この実験では、8チャンネルのアレイについて、 $W_{m1}+W_{m2}+(7 \times W_a)=90\mu\text{m}$ （一定）で、且つ $W_{m1}=W_{m2}=W_m$ の条件を用いて実験を行った。つまり、積分したマスクの面積が常に一定となる条件で実験を行った。図7は、 $W_a=2, 4, 6, 8, 10\mu\text{m}$ （対応してアレイ間隔 $\Lambda=3.5, 5.5, 7.5, 9.5, 11.5\mu\text{m}$ と変化）と変化させたときの、各チャンネルのMQW層のPLピーク波長依存性を示す。 $W_a=2\mu\text{m}$ の場合（ W_m の1/19の幅）は、チャンネル内の波長分布は下に凸型であり、 $W_a=4\mu\text{m}$ の場合（ W_m の約1/8の幅）に、チャンネル内でほぼ均一な波長分布となり、 $W_a=10\mu\text{m}$ の場合（ W_m と同じ幅）は、上に凸型の波長分布をとることがわかった。この結果は、図3の実験で得られた結果、“アレイ内の全チャンネルでほぼ均一なPLピーク波長分

布を得るには、マスク幅 W_m は W_a と等しいか、ある程度広くしなければならぬ”を裏付ける結果と言える。更に新しい知見として、 $W_m \gg W_a$ の場合にも、PL ピーク波長分布のチャンネル内均一性が劣化することがわかった。これらのことから、 W_a もアレイ内の MQW 層のバンドギャップ波長制御に少なからず影響を与えるパラメータであることがわかった。

【0043】最後に、ここでは図を用いて説明はしないが、狭幅マイクロアレイ選択成長では、アレイ状成長領域の幅 W_0 (図 1 参照) を導波路方向で適切に変化させることによって、成長される結晶のバンドギャップ波長制御の自由度を拡大することができる。例えば、 W_0 が狭い部分では、成長される結晶の層厚は厚く、組成は長波長側にシフトする。

【0044】以上の実験例の結果に基づいて、本発明の狭幅マイクロアレイ選択成長では、主として、1) 原料種の拡散効果、2) 原料種のマイグレーション効果、の二つの物理現象を用いている。1) の効果は、マイクロアレイのアレイ間隔を、原料種の拡散長より十分短く設定することで (例えば、 $50 \mu m$ 以下の間隔) 有効に利用することができ、アレイを構成する全チャンネルの結晶組成及び層厚を均一性良く制御することが可能となる。一方、2) の効果は、マイクロアレイの成長領域幅 W_0 を原料種のマイグレーション長より短く設定することで (例えば、 $10 \mu m$ 以下の幅、 $1.5 \mu m$ 幅等) 有効に利用することができ、選択成長される結晶層の平坦性が向上し、また、図 4 に示すような各チャンネルのバンドギャップ波長を独立に制御する上で有利になる。

【0045】更に、本発明の狭幅マイクロアレイ選択成長では、成長領域幅 W_0 を $1.5 \mu m$ 程度に選ぶことによって、選択成長された結晶によって形成されるアレイ光導波路が、そのままのサイズで各々単一横モード条件を満足するので、極小アレイ光導波路を、1) 半導体のエッチング無しで形成できるから、歩留まりを著しく向上させることができ、2) 図 2 に示すように、選択成長される結晶の側面が平滑な (111) B 面となるから、従来のエッチングで形成された凸凹の側面を有する光導波路に比べて、極めて光信号の低損失なアレイ光導波路を形成できる等の利点をも有している。

【0046】以上述べてきた実験結果の意味することは、本発明の狭幅マイクロアレイ選択成長技術を用いると、従来、 $250 \mu m$ 間隔で 1 個の光源を作製していた大きさの領域に、アレイを構成する各光導波路間で、結晶組成が適切に制御された異なる波長のアレイ光源を超高集積して作り込むことが可能になるということである。具体的な例で述べると、共振器長 $300 \mu m$ の異波長 8 ch アレイ光源であっても、従来の 1 チップのサイズ ($250 \mu m \times 300 \mu m$) で作製が可能であり、従来の単体光素子と同じチップ数の”アレイ構造半導体光素子”を 1 ウエハ上に作製できるということを意味して

いる。即ち、従来の集積光素子の集積度を 10 倍以上に拡大することが可能であり、本発明は、超高集積アレイ構造半導体光素子を実現する上で非常に有効な技術である。

【0047】

【発明の実施の形態】以下に、実施の形態例を挙げ、添付図面を参照して、本発明の実施の形態を具体的かつ詳細に説明する。

実施の形態例

10 本発明の半導体光導波路アレイの製造方法及びアレイ構造半導体光素子の実施の形態について説明する。本発明では、誘電体マスクを用いた有機金属気相成長法による選択成長によって半導体光導波路アレイを結晶成長する際に、反応管内における原料種の拡散長よりも短い間隔で複数本並列して形成された半導体光導波路の隣り合う光導波路間で、各成長領域の間に形成された幅 W_a の誘電体薄膜と、最外側に形成された幅 W_{m1} 及び W_{m2} ($W_{m1}, W_{m2} > W_a$) の誘電体薄膜を用いて、成長させる結晶のバンドギャップエネルギー及び層厚を制御する。

【0048】

【実施例】以下に、添付図面を参照して、実施例に基づいて本発明をより詳細に説明する。

実施例 1

本実施例は、本発明に係るアレイ構造半導体光素子をマイクロアレイ分布帰還 (DFB) 型半導体レーザに適用した実施形態の一である。図 8 は、回折格子の配置図、図 9 はマスクの平面図、及び図 10 はアレイの各チャンネルの半導体レーザ層構造を示す断面図である。本実施例のマイクロアレイ分布帰還 (DFB) 型半導体レーザ (以下、簡単に半導体レーザと言う) 100 は、ディチューニング (レーザの利得ピーク波長と回折格子のブラッグ波長の差) が適切な値 ($\pm 10 \text{ nm}$) に制御されたマイクロアレイ分布帰還 (DFB) 型半導体レーザである。即ち、半導体レーザ 100 は、図 10 に示すように、 $n\text{-InP}$ 基板 99 上に、発光波長 (以下、省略) $1.13 \mu m$ 組成の $n\text{-InGaAsP}$ 半導体層 11、 $n\text{-InP}$ スペーサ層 12、 $1.20 \mu m$ 組成の $n\text{-InGaAsP}$ 光閉じ込め層 13、7 層多重量子井戸 (MQW) 層 14 ($1.50 \mu m$ 組成圧縮歪 InGaAsP ウェル / $1.20 \mu m$ 組成 InGaAsP バリアからなる)、 $1.20 \mu m$ 組成の InGaAsP 光閉じ込め層 15、及び $p\text{-InP}$ 層 16 からなる積層構造を有する。更に、半導体レーザ 100 は、積層構造上に層厚 $2.0 \mu m$ の $p\text{-InP}$ 埋め込みクラッド層 17、層厚 $0.3 \mu m$ の $p^+\text{-InGaAs}$ コンタクト層 18、及び SiO_2 保護膜 19 を有し、上下に、 Cr/Au 上部電極 20、及び Cr/Au 下部電極 21 を備えている。

【0049】半導体レーザ 100 の作製方法

50 次に、図 8 及び図 9 を参照して、半導体レーザ 100 の

13

作製方法を説明する。まず、図8に示すように、 $n\text{-InP}$ 基板99上に横方向に $1.5\mu\text{m}$ 間隔で配列され、チャンネル1本当たり幅 $5\mu\text{m}$ ×長さ $300\mu\text{m}$ の8本のチャンネルの領域に、電子ビーム露光法等を用いて、回折格子パターン88を描画する。このとき、各チャンネルの発振波長を全8チャンネルで $1536\sim 1568\text{nm}$ （隣り合うチャンネル間で 4nm ずつ異なる発振波長に設定する）と変化させるため、チャンネル1の回折格子の周期 Λ_1 を 240nm とし、順次、周期を 0.625nm ずつ増加させ、チャンネル8の回折格子の周期 Λ_8 が 245nm となるようにする。この回折格子パターン88を、通常のウェットエッチング等により、 $n\text{-InP}$ 基板99上に転写し、深さ 60nm の回折格子88を形成する。

【0050】次に、回折格子88が形成された基板99上へ、図9に示すように、 $\langle 011 \rangle$ 方向に、選択成長用の SiO_2 マスク2、3、4を形成する。このとき、マスク幅は、各々 $W_a = 10\mu\text{m}$ 、 $W_{a1} = 20\mu\text{m}$ 、 $W_{a2} = 50\mu\text{m}$ とし、マスクが8本の成長領域（即ち、回折格子88の領域で、各々、成長領域幅 $W_0 = 1.5\mu\text{m}$ ）を挟んで対向するように形成する。一方、共振器の両端面に窓構造を導入するために、幅 $25\mu\text{m}$ の SiO_2 マスク5を共振器の両端面位置に配設する。この SiO_2 マスク2、3、4、5が形成された基板99上に、図10の断面図に示す積層方向の各半導体層の組成になるように、 $1.13\mu\text{m}$ 組成の $n\text{-InGaAsP}$ 半導体層11、 $n\text{-InP}$ スペーサ層12、 $1.20\mu\text{m}$ 組成の $n\text{-InGaAsP}$ 光閉じ込め層13、7層多重量子井戸（MQW）層14（ $1.50\mu\text{m}$ 組成圧縮歪 InGaAsP ウェル／ $1.20\mu\text{m}$ 組成 InGaAsP バリアからなる）、 $1.20\mu\text{m}$ 組成の InGaAsP 光閉じ込め層15、及び $p\text{-InP}$ 層16を有機金属気相成長法（MOVPE）等により選択成長する。成長条件は、圧力 150Torr 、温度 650°C である。この時、MQW層14のフォトルミネッセンス（PL）ピーク波長は、チャンネル1～8で $1535\sim 1570\text{nm}$ と変化させることができた。その結果、回折格子の周期 Λ によって決まる各チャンネルの発振波長に、MQW層14の利得ピーク波長を追随させて変化させることができ、各チャンネルのディチューニング量（発振波長と利得ピーク波長の差）を常に $\pm 10\text{nm}$ 以下の良好な値に維持することができた。

【0051】このようにして、各半導体層を形成した後、成長阻止マスクのマスク開口幅 W_0 を $1.5\mu\text{m}$ から全領域で $5\mu\text{m}$ になるように再度形成し、このマスクを用いて、層厚 $2.0\mu\text{m}$ の $p\text{-InP}$ 埋め込みクラッド層17、層厚 $0.3\mu\text{m}$ の $p^+\text{-InGaAs}$ コンタクト層18をMOVPEにより選択成長する。その後、全面に SiO_2 膜を形成し、電流注入用窓を形成し、 Cr/Au 上部電極20、 Cr/Au 下部電極21を通常

14

のスパッタ法等により形成する。最後に、共振器の両端面に $25\mu\text{m}$ 長の窓構造が配置されるように共振器長を $350\mu\text{m}$ で劈開し、両端面に SiON 膜からなる低反射コーティングを通常のスパッタ法等で形成し素子化を完了した。

【0052】このようにして、アレイ全体のチップサイズが約 $100\mu\text{m} \times 350\mu\text{m}$ という極めて小さいサイズでありながら、アレイを構成する各DFBレーザのディチューニングが各々独立に制御された異波長DFBレーザアレイを実現することができた。各チャンネルのディチューニング量が適切に制御されているため、全チャンネルで、 25°C 、CWのしきい値電流 $10\text{mA} \pm 1\text{mA}$ 、片側光出力 $18\text{mW} \pm 1\text{mW} @ 150\text{mA}$ という良好で均一な特性を得ることができた。

【0053】実施例2

本実施例は、本発明に係るアレイ構造半導体光素子をスポットサイズ変換器付きマイクロアレイ異波長半導体レーザに適用した実施例である。図11はマスクの平面図、図12は積層構造の各半導体層の組成を示す図、及び図13は半導体レーザの構造を示す部分断面斜視図である。本実施例の半導体レーザ200は、スポットサイズ変換器（Spot Size Converter、SSC）付きマイクロアレイ異波長半導体レーザであって、各チャンネルは図12に示す層組成の積層構造を有し、また、図13に示す全体構成を備えている。各チャンネルの半導体レーザ素子構造は、 $p\text{-InP}$ 埋め込みクラッド層17の膜厚が $5.0\mu\text{m}$ であることを除いて、実施例1の素子構造と同じである。

【0054】半導体レーザ200の作製方法

まず、図11に示すように、 $n\text{-InP}$ 基板99上に、選択成長用 SiO_2 マスク2、3、4を $\langle 011 \rangle$ 方向にステップ等を用いて形成する。 SiO_2 マスク2、3、4は、各々の開口幅 $W_0 = 1.5\mu\text{m}$ の8本のアレイ状成長領域を挟んでアレイ間隔 $20\mu\text{m}$ で配置する。このとき、領域長 $400\mu\text{m}$ のレーザ領域では、 SiO_2 マスク2の幅 $W_{a1} = 18.5\mu\text{m}$ 、 SiO_2 マスク3の幅 $W_{a1} = 30\mu\text{m}$ 、 SiO_2 マスク4の幅 $W_{a2} = 70\mu\text{m}$ とし、領域長 $200\mu\text{m}$ のSSC領域では、 SiO_2 マスク2の幅 $W_{a2} = 4\mu\text{m}$ 、 SiO_2 マスク3、4の幅 $W_{a3} = 7\mu\text{m}$ とする。但し、SSC領域では、 SiO_2 マスク2の幅が $W_{a2} = 4\mu\text{m}$ であり、アレイ間隔 $20\mu\text{m}$ よりも狭いため、各チャンネルの成長領域の間にダミー成長領域77が存在する。

【0055】このマスクが形成された基板99上に、図12に示すような光導波層を、有機金属気相成長法（MOVPE）等により、圧力 70torr 、温度 650°C の条件下で選択成長する。詳細に説明すると、積層構造は、 $1.13\mu\text{m}$ 組成の $n\text{-InGaAsP}$ 半導体層11、 $n\text{-InP}$ スペーサ層12、 $1.20\mu\text{m}$ 組成の $n\text{-InGaAsP}$ 光閉じ込め層13、 $1.50\mu\text{m}$ 組成圧縮歪 InGaAsP ウェル／ $1.20\mu\text{m}$ 組成 InGaAsP バリアからなる）、 $1.20\mu\text{m}$ 組成の InGaAsP 光閉じ込め層15、及び $p\text{-InP}$ 層16を有機金属気相成長法（MOVPE）等により選択成長する。成長条件は、圧力 150Torr 、温度 650°C である。この時、MQW層14のフォトルミネッセンス（PL）ピーク波長は、チャンネル1～8で $1535\sim 1570\text{nm}$ と変化させることができた。その結果、回折格子の周期 Λ によって決まる各チャンネルの発振波長に、MQW層14の利得ピーク波長を追随させて変化させることができ、各チャンネルのディチューニング量（発振波長と利得ピーク波長の差）を常に $\pm 10\text{nm}$ 以下の良好な値に維持することができた。

nGaAsPウエル/1. 20 μ m 組成 InGaAsP バリアからなる 7 層多重量子井戸 (MQW) 層 14、1. 20 μ m 組成の InGaAsP 光閉じ込め層 15、及び p-InP 層 16 である。成長した結果、光導波層の全層厚は、レーザ領域ではチャンネル 1~8 で 0. 25~0. 35 μ m の範囲で分布し、SSC 領域では、チャンネル 1~8 で 0. 08~0. 1 μ m の分布となった。また、レーザ領域の MQW 層のフォトルミネッセンス (PL) ピーク波長は、チャンネル 1~8 で 1540~1590 nm と変化させることができた。このようにして、各半導体層 11~16 を成長した後、成長阻止マスクのマスク開口幅 W_0 を 1. 5 μ m から全領域で 12 μ m になるように再度形成し、このマスクを用いて、層厚 5. 0 μ m の p-InP 埋め込みクラッド層 17、層厚 0. 3 μ m の p⁺-InGaAs コンタクト層 18 を MOVPE により成長する。その後、全面に SiO₂ 膜 19 を成膜し、電流注入用窓を形成し、Cr/Au 上部 p 電極 20、Cr/Au 下部 n 電極 21 を通常のスパッタ法等により形成する。最後に、レーザ領域長 400 μ m、SSC 領域長 200 μ m となるように全共振器長を 600 μ m で劈開し、レーザ側端面に SiON 膜からなる高反射コーティング膜 22 を通常のスパッタ法等で成膜し、素子化を完了した。

【0056】このようにして、アレイ全体のチップサイズが 160 μ m × 600 μ m という極めて小さいサイズのスポットサイズ変換器付きの 8 チャンネル異波長半導体レーザアレイを実現することができた。レーザアレイは、全チャンネルで、発振波長が 1540~1590 nm と分布させることができ、また、しきい値電流も 6 mA ± 1 mA という極めて均一で良好な特性を示し、25℃ の片側光出力も 30 mW 以上という優れた値を得ることができた。フラットエンド光ファイバとの結合損失を測定した結果、全チャンネルで 3 dB 以下という極めて良好な値を得ることができ、スポットサイズ変換器がアレイを構成する全ての素子で十分機能していることも確認された。

【0057】実施例 3

本実施例は、本発明に係るアレイ構造半導体光素子をスポットサイズ変換器付マイクロアレイ半導体光アンプに適用した実施例である。図 14 はマスクの平面図、図 15 は積層構造の各半導体層の組成を示す図、及び図 16 は半導体レーザの構造を示す部分断面斜視図である。本実施例の光アンプ 300 は、スポットサイズ変換器付マイクロアレイ半導体光アンプであって、光アンプの各チャンネルは、図 15 に示す層組成の積層構造を有し、また、図 16 に示す全体構成を備えている。即ち、光アンプ 300 は、図 15 及び図 16 に示すように、n-InP 基板 99 上に、0. 2 μ m 厚の n-InP バッファ層 24、0. 4 μ m 厚の 1. 50 μ m 組成の圧縮歪 InGaAsP バルク活性層 25、及び p-InP 層 16 の

積層構造を備え、積層構造上に、p-InP 埋め込みクラッド層 17 (層厚 5. 0 μ m)、p⁺-InGaAs コンタクト層 18 (層厚 0. 3 μ m) を有する。更に、光アンプ 300 は、基板全面に SiO₂ 保護膜 19 を備え、上下に Cr/Au 上部電極 20 及び Cr/Au 下部電極 21 を有する。前記したような実施例 2 の半導体レーザ 200 では、狭幅マイクロアレイ選択成長で用いる SiO₂ マスクの成長領域の幅 W_0 を $W_0 = 1. 5\mu$ m とし、活性層に MQW を用いていた。一方、本実施例では、成長領域幅 W_0 を $W_0 = 0. 6\mu$ m とし、活性層に InGaAsP バルク層を用いたことで、実施例 2 とほぼ同様のプロセスを経て、簡単にスポットサイズ変換器付きのマイクロアレイ半導体光アンプを実現することができる。

【0058】光アンプ 300 の作製方法

まず、図 14 に示すように、n-InP 基板 99 上に <011> 方向に、SiO₂ マスク 2、3、4 をアレイ間隔 20 μ m で形成する。このとき、SiO₂ マスクの幅は、領域長 300 μ m の SSC 領域では、 $W_{a2} = 1\mu$ m、 $W_{a3} = 4\mu$ m とし、領域長 800 μ m のアンプ領域では、 $W_{a1} = 18. 5\mu$ m、 $W_{a1} = 80\mu$ m、 $W_{a2} = 80\mu$ m とし、各領域共にマスクが 8 本の成長領域 (各々成長領域幅 $W_0 = 0. 6\mu$ m) を挟んで対向するように形成する。但し、SSC 領域では、SiO₂ マスク 2 の幅が $W_{a2} = 1\mu$ m であり、アレイ間隔 20 μ m よりも狭いため、各チャンネルの成長領域の間にダミー成長領域 77 が存在する。一方、共振器の両端面に窓構造を導入するために、幅 25 μ m の SiO₂ マスク 5 を共振器の端面位置に配置する。

【0059】このマスクが形成された基板上に、図 15 に示すような層組成を有する積層構造を形成する。詳細には、0. 2 μ m 厚の n-InP バッファ層 24、0. 4 μ m 厚の 1. 50 μ m 組成の圧縮歪 InGaAsP バルク活性層 25、及び p-InP 層 16 を有機金属気相成長法 (MOVPE) 等により選択成長する。成長条件は、圧力 300 Torr、温度 650℃ である。この時、アンプ領域のバルク層のフォトルミネッセンス (PL) ピーク波長は、チャンネル 1~8 で、1550~1570 nm とほぼ一定に保つことができた。また、SSC 領域のバルク層の PL ピーク波長は、チャンネル 1~8 で、1380~1390 nm という均一で、且つ、スポットサイズ変換機能を有する低損失受動導波路として十分に短波長化することができた。アンプ領域の InGaAsP バルク層の層厚に対して、SSC 領域の InGaAsP バルク層の層厚は、全チャンネルで 1/4 以下の薄膜化が達成された。

【0060】このようにして、各半導体層を形成した後、SiO₂ マスク 2~4 のマスク開口幅 W_0 を 0. 6 μ m から全領域で 12 μ m になるように再度形成し、このマスクを用いて、p-InP 埋め込みクラッド層 17

(層厚 $5.0\mu\text{m}$)、 $p^+ - \text{InGaAs}$ コンタクト層 18 (層厚 $0.3\mu\text{m}$) を MOVPE により成長する。その後、全面に SiO_2 膜 19 を成膜し、電流注入用窓を形成し、 Cr/Au 上部電極 20、 Cr/Au 下部電極 21 を通常のスパッタ法等により形成する。最後に、両端面に $25\mu\text{m}$ 長の窓構造が配置されるように共振器長を $1150\mu\text{m}$ で劈開し、両端面に低反射コーティング用 SiON 膜 23 を通常のスパッタ法等で形成して、アレイ全体のチップサイズが $160\mu\text{m} \times 1150\mu\text{m}$ という極めて小さいサイズのスポットサイズ変換器付きの 8 チャンネルアレイ半導体光アンプを実現することができた。

【0061】特性としては、全チャンネルで、アンプへの注入電流 30mA 時の波長 1560nm の入力光に対する光学利得 $10\text{dB} \pm 0.2\text{dB}$ 、フラットエンド光ファイバとの結合損失 $3.5\text{dB} \pm 1\text{dB}$ という良好な特性を得ることができた。活性層にバルク層を用い、 $W_0 = 0.6\mu\text{m}$ としているため、選択成長される光導波層の横断面形状がほぼ矩形の形となり、アンプの利得特性を TE 波、TM 波に対して偏向無依存にすることができた。また、石英系の Planer Lightwave Circuit (PLC) とパッシブアライン実装し、ゲートスイッチ動作を確認したところ、全チャンネルで、波長 1560nm の入力光に対して、消光比 50dB 以上の良好なスイッチ動作を達成することができた。

【0062】実施例 4

本実施例は、本発明に係るアレイ構造半導体光素子をマイクロアレイ波長選択光源に適用した実施例であって、図 17 は回折格子の配置図、図 18 はマスクの平面図、及び図 19 は波長選択光源の構造を示す斜視図である。本実施例のマイクロアレイ波長選択光源 400 は、図 19 に示すように、 InP 基板上へモノリシック集積された極小サイズの波長選択光源であって、光源は、主として 5 つの領域から構成されている。すなわち、波長選択光源 400 は、1) DFB レーザ領域、2) 合波器領域、3) 多モード干渉 (Multi Mode Interference) 領域、4) 光増幅器領域、及び 5) 光変調器領域、の 5 つで構成されている。

【0063】波長選択光源 400 の作製方法

まず、図 17 に示すように、 $n - \text{InP}$ 基板 99 上に回折格子パターン 88 を DFB レーザ領域のみに電子ビーム露光法を用いて描画する。詳細には、横方向に $11.5\mu\text{m}$ 間隔で、アレイ 1 本当たり幅 $5\mu\text{m} \times$ 長さ $400\mu\text{m}$ の 8 本のチャンネル領域に描画する。この時、レーザ領域の各チャンネルの発振波長を全 8 チャンネルで $1536 \sim 1547.2\text{nm}$ (即ち、チャンネル間で 1.4nm ずつ異なる発振波長に設定する) と変化させるため、チャンネル 1 の回折格子の周期 Λ_1 を 240nm とし、隣り合うチャンネルで周期を 0.25nm ずつ増加させ、チャンネル 8 の回折格子の周期 Λ_8 が 241.7

5nm となるようにする。この回折格子パターン 88 を、通常のウェットエッチング等により、 $n - \text{InP}$ 基板 99 上に転写し、深さ 60nm の回折格子 88 を形成する。

【0064】次に、図 18 に示すように、この回折格子が形成された基板 99 上に選択成長用 SiO_2 マスクを形成する。このとき、各領域のマスク幅は次のように設定する。1) DFB レーザ領域：8 本のアレイ間隔 $11.5\mu\text{m}$ 、 $W_a = 10\mu\text{m}$ 、 $W_{a1} = 20\mu\text{m}$ 、 $W_{a2} = 50\mu\text{m}$ 、成長領域幅 $W_0 = 1.5\mu\text{m}$ 、2) 合波器領域：アレイ間隔 $11.5 \sim 2.5\mu\text{m}$ まで、距離 $300\mu\text{m}$ で変化させる。成長領域幅 $W_0 = 1.5\mu\text{m}$ 、マスク幅は領域内全て $W_{m3} = 1\mu\text{m}$ 、3) MMI 領域：成長領域幅 $W_0 = 19\mu\text{m}$ 、マスク幅 $W_{m4} = 20\mu\text{m}$ 、4) 光増幅器領域：成長領域幅 $W_0 = 1.5\mu\text{m}$ 、マスク幅 $W_{m5} = 60\mu\text{m}$ 、5) 光変調器領域：成長領域幅 $W_0 = 1.5\mu\text{m}$ 、マスク幅 $W_{m6} = 40\mu\text{m}$ 。更に、素子の両端面に窓構造を導入するために、幅 $25\mu\text{m}$ の SiO_2 マスク 5 を端面位置に配置する。

【0065】これらのマスクが形成された基板上に、実施例 1 の図 10 と同様の層構造、即ち $1.13\mu\text{m}$ 組成の $n - \text{InGaAsP}$ 半導体層 11、 $n - \text{InP}$ スペーサ層 12、 $1.20\mu\text{m}$ 組成の $n - \text{InGaAsP}$ 光閉じ込め層 13、 $1.50\mu\text{m}$ 組成圧縮歪 InGaAsP ウェル / $1.20\mu\text{m}$ 組成 InGaAsP バリアからなる 7 層多重量子井戸 (MQW) 層 14、 $1.20\mu\text{m}$ 組成の InGaAsP 光閉じ込め層 15、及び $p - \text{InP}$ 層 16 を有機金属気相成長法 (MOVPE) 等により選択成長する。成長条件は、圧力 150Torr 、温度 650°C である。この時、MQW 層のフォトルミネッセンス (PL) ピーク波長は、1) DFB レーザ領域：チャンネル 1 ~ 8 で $1535 \sim 1550\text{nm}$ と変化させることができ、2) 合波器領域：全チャンネルで、 1380nm 、3) MMI 領域： 1300nm 、4) 光増幅器領域： 1542nm 、5) 光変調器領域： 1472nm となった。その結果、1) DFB レーザ領域では、回折格子の周期によって決まる各チャンネルのレーザの発振波長に、MQW 層の利得ピーク波長を追従させて変化させることができ、各チャンネルのディチューニング量 (発振波長と利得ピーク波長の差) を $\pm 10\text{nm}$ 以下の良好な値に維持することができた。

【0066】このようにして、各半導体層を形成した後、 SiO_2 マスクのマスク開口幅 W_0 を、1) DFB レーザ領域、2) 光増幅器領域、3) 光変調器領域の 3 つの領域で、 $1.5\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ になるように再度形成する。更に、4) MMI 領域の SiO_2 マスクは全て除去し、5) 合波器領域では、幅 W_0 の成長領域を覆うように SiO_2 を再度形成する。このマスクを用いて、実施例 1 の図 10 と同様の埋め込み構造、即ち $p - \text{InP}$ 埋め込みクラッド層 17 (層厚 $3\mu\text{m}$)、 $p^+ - \text{In}$

GaAsコンタクト層18(層厚 $0.3\mu\text{m}$)をMOVPEにより成長する。その結果、1)DFBレーザ領域、2)光増幅器領域、3)光変調器領域、4)MMI領域では、埋め込み導波路構造が、5)合波器領域ではハイメサ導波路構造が形成される。その後、全面に SiO_2 膜19を形成し、電流注入用窓を、DFBレーザ領域のみに形成し、 Cr/Au 上部電極20、 Cr/Au 下部電極21を通常のスパッタ法等により形成する。

【0067】更に、もう一度全領域に SiO_2 膜を成膜し、1)DFBレーザ領域は、図19に示すように、部分的に窓を開け、2)光増幅器領域、3)光変調器領域にも窓を開ける。再度、 Cr/Au 上部電極20を形成する。つまり、DFBレーザ領域では、各チャンネルの電極が相互に接触しないように二重電極構造となっている。このようにして電極を形成した後、最後に、両端面に $25\mu\text{m}$ 長の窓構造が配置されるように共振器長を $1500\mu\text{m}$ で劈開し、両端面に低反射コーティング用 SiON 膜23を通常のスパッタ法等で形成して、全体のチップサイズが $300\mu\text{m} \times 1500\mu\text{m}$ という極めて小さいサイズの波長選択光源を実現することができた。

【0068】異波長DFBレーザアレイを構成する各DFBレーザのディチューニングが各々適切に制御されているため、各々のレーザの特性は、発振波長 $1536 \sim 1547.2\text{nm}$ 、全チャンネルで 25°C 、CW時のしきい値電流 $9\text{mA} \pm 1\text{mA}$ 、光増幅器への注入電流 20mA で、光出力 $20\text{mW} \pm 1\text{mW}@150\text{mA}$ という良好で均一な特性を得ることができた。更に、光変調器の変調特性としても、全チャンネルの発振波長に対して $2.5\text{Gbit/s} - 600\text{km}$ 伝送を達成することができた。両端面に窓構造を導入し、且つ低反射コーティングしているために、全チャンネルで単一モード発振が得られる歩留まりも50%以上と良好な値が得られた。

【0069】さらに本発明は、光モジュールに適用する上でも大きな利点を有する。たとえば図20に示すように、図20(a)には、4チャンネルの半導体レーザアレイを用いた場合の光モジュール内の光ファイバとレーザアレイとの配置模式図を示す。たとえば本発明においては、半導体レーザアレイのアレイ全幅は、前記図20(a)に示すように、 $30\mu\text{m}$ 程度と極小化し、 $50\mu\text{m}$ と比較的コア径の大きな光ファイバ2を用いることで、半導体レーザアレイからの全出力光を光ファイバに直接結合(直接取出)することができる。すなわち、光出力の集光用レンズなどの光学系を特に必要としない。一方、アレイ本数が増加した場合を図20(b)に示す。アレイ本数が例えば6本に増加し、光ファイバのコア径(たとえば $50\mu\text{m}$)程度になった場合には、光ファイバ2と半導体レーザアレイとの間に、集光レンズを挿入するだけで、半導体レーザアレイからの全出力光を光ファイバに直接結合(直接出力)することができ、この場合において、光合波器の集積化を必要としない。

【0070】このようなレンズを有する場合の光モジュールの構造模式図を、図20(c)に示す。光モジュールは、アレイ全幅が光ファイバのコア径以下になるように、極小アレイ周期で半導体レーザが配置された半導体レーザアレイ31と、光ファイバ32と、受光素子33、ペルチェ素子34、レンズ35およびレンズ支持体36等により構成されている。本発明による極小半導体レーザアレイ31と、コア径 $50\mu\text{m}$ 以上の光ファイバ32とを用いることで、多チャンネルの半導体レーザアレイ31の各チャンネルからの光出力を、集積型の光合波器を用いずにレンズ集光により、直接1本の光ファイバに結合できるようになった。

【0071】半導体レーザアレイ素子のサイズは、電極部を含めても横幅 $250\mu\text{m}$ 程度、長さ $300\mu\text{m}$ 程度と、従来の1チップ素子のサイズと同じにすることができ、全体の光モジュールのサイズも通常の半導体レーザ光モジュールと同程度の小型サイズが可能となった。その結果、光モジュールの作成プロセス、歩留まりが大幅に向上し、半導体レーザアレイ光モジュールの低価格供給が可能となった。また半導体レーザアレイ全幅が、光ファイバのコア径よりも十分に狭い場合には、集光レンズ35も必要としなくなる。その結果、光モジュールの部品点数のさらなる減少および作成プロセスの更なる単純化が可能となり、なお一層の低価格化を実現可能とした。なお、図20(a)および図20(b)に示す半導体レーザアレイにおいて、部分的に電流注入窓を開口したところに、電極7を設けることによって、各チャンネルのレーザを独立駆動可能としている。

【0072】また、本発明のアレイ構造半導体光素子は、受光素子33を搭載する上でも大きなメリットを有する。すなわち図20に示すように、半導体レーザアレイ全幅が $50\mu\text{m}$ 程度以下と非常に狭いため、単一の受光素子で、全チャンネルの光を受光することができる。その結果、光モジュールに必要な受光素子の数を、従来、チャンネル数と同数必要であったが、これを大幅に減少することができ、前記同様に、チップサイズの小型化、製造工程の簡略化、さらに、光モジュールの一層の低価格化に寄与することができた。以下に、本発明の光モジュールの応用例を、実施例および図面によって、説明する。このように、本発明に係る極小アレイ半導体光素子を用いて光モジュールに適用すれば、光モジュールの小型化、低価格化さらには歩留まりの向上が飛躍的に図ることができる。

【0073】実施例5

多波長半導体ファブリペロー(FP)レーザアレイ光モジュール

図21に本発明の第5の実施例である、多波長半導体ファブリペロー(FP)レーザアレイ光モジュールの構成を示す。この光モジュールは、 $7\mu\text{m}$ 間隔の極小アレイ周期で各チャンネルの発振波長が異なるFPレーザの配

置された 8 チャンネルの多波長 F P レーザアレイ 4 1 と、コア径が $60\mu\text{m}$ の光ファイバ 3 2 と、受光素子 3 3 と、ペルチェ素子 3 4 とで構成されている。8 チャンネルのレーザアレイ 4 1 のアレイ全幅は、 $60\mu\text{m}$ 以下であるため、該レーザアレイから出力される光出力は、全てレンズ 3 5 によりコア径 $60\mu\text{m}$ の光ファイバに結合される。F P レーザアレイの電極 3 7 は、各チャンネルに独立に電流注入できるように、部分的に窓が開いた二重電極構造を用いた。

【0074】また、レーザアレイを構成する各半導体レーザの活性層は、多重量子井戸 (MQW) 層 3 9 からなり、各チャンネルで 10mA 程度の低しきい値電流発振により、 10mW 以上の光出力を確認した。各チャンネルの発振波長は、ch. 1 = 1530nm 、ch. 2 = 1540nm 、ch. 3 = 1550nm 、ch. 4 = 1560nm 、ch. 5 = 1570nm 、ch. 6 = 1580nm 、ch. 7 = 1590nm 、ch. 8 = 1600nm であった。多波長 F P レーザアレイの素子サイズは、横幅 $250\mu\text{m}$ 、長さ $390\mu\text{m}$ と小型であり、光モジュールも通常の半導体レーザと同程度に小型化、低価格化を実現できた。

【0075】実施例 6

多波長半導体 DFB レーザアレイ光モジュール

図 2 2 に本発明の第 5 の実施例である、多波長半導体 DFB レーザアレイ光モジュールの構成を示す。この光モジュールは、 $10\mu\text{m}$ 間隔の極小アレイ周期で配置された 8 チャンネルの異波長 DFB レーザアレイ 4 5、コア径が $80\mu\text{m}$ の光ファイバ 3 2、受光素子 3 3、ペルチェ素子 3 4、レンズ 3 5、レンズ支持体 3 6 および波長フィルタ 3 8 とで構成されている。8 チャンネルのレーザアレイ 4 5 のアレイ全幅は、 $70\mu\text{m}$ 以下であるため、アレイから出力される光出力は、全てレンズ 3 5 によりコア径 $80\mu\text{m}$ の光ファイバに結合される。DFB レーザアレイの素子サイズは、幅 $250\mu\text{m}$ 、長さ $300\mu\text{m}$ であり、発振波長は、チャンネル毎に異なる周期の回折格子 10 を用いることにより、 1550nm を中心として、ITU グリッドに合わせて 0.8nm づつ、またアレイ全体としては 5.6nm 程度変化させている。アレイを構成する各 DFB レーザの活性層は、多重量子井戸 (MQW) 層 3 9 からなり、 5mA 程度の低しきい値電流発振により、 20mW 以上の光出力を確認した。レーザアレイの各チャンネルの発振波長は、たとえば誘電体多層膜波長フィルタなどの波長フィルタ 3 8 を透過する光強度を受光素子でモニターし、ペルチェ素子 3 4 を用いて規定温度にフィードバックすることによって、目標の発振波長にロックできるようになっている。DFB レーザアレイ 4 5 を用いることで、発振波長のモード安定性を高め、より通信用途に適した光モジュールとすることができた。

【0076】実施例 7

波長可変 DFB レーザアレイ光モジュール

本発明の第 7 の実施例である、波長可変 DFB レーザアレイ光モジュールは、図 2 2 において、8 チャンネルの多波長 DFB レーザアレイを 8 チャンネルの波長可変 DFB レーザアレイに置き換えている。1 チャンネルあたりの DFB レーザの構造模式図を、図 2 3 に示す。8 チャンネル DFB レーザアレイは、各チャンネルの中心発振波長を、ch. 1 = 1535nm 、ch. 2 = 1540nm 、ch. 3 = 1545nm 、ch. 4 = 1550nm 、ch. 5 = 1555nm 、ch. 6 = 1560nm 、ch. 7 = 1565nm および ch. 8 = 1570nm としている。広い波長範囲で利得を十分に発生できるように、活性層にはバルク活性層 4 3 を用いた。DFB レーザは、活性領域と、回折格子領域 + 位相制御領域からなる波長チューニング領域とからなり、波長チューニング電極 4 2 を通じて、チューニング電流を制御することにより、1 チャンネルあたり 5nm の波長可変動作が可能であった。その結果、アレイ全体として 35nm の広波長範囲に亘って単一モード発振のできる波長可変 DFB レーザアレイ光モジュールを実現することができた。

【0077】実施例 8

スポットサイズ変換器付き DFB レーザアレイ光モジュール

図 2 4 に本発明の第 8 の実施例である、スポットサイズ変換器 (Spot Size Converter : SSC) 付き DFB レーザアレイ光モジュールを示す。6 チャンネルの SSC 付き DFB レーザアレイ光モジュールは、図 2 1 の 8 チャンネル多波長半導体 F P レーザアレイを、6 チャンネルの多波長 SSC 付き DFB レーザアレイに置き換え、また、 $125\mu\text{m}$ の光ファイバのコア径に置き換えている。また InP 基板上に作製された SSC 付き DFB レーザアレイの 1 チャンネル分の構造斜視図を図 2 4

(a) に示す。素子は、レーザ領域と SSC 領域からなり、SSC 領域の MQW 光導波路の層厚及び組成は、レーザ領域境界部より SSC 領域端面へ向けて、緩やかに薄く、かつ短波長化している。InP クラッド 4 4 の幅は $7\mu\text{m}$ 、MQW 活性層 3 9 の幅は $1.5\mu\text{m}$ である。また 6 チャンネル分のレーザ側横方向断面模式図を図 2 4 (b) に示す。アレイの周期は $20\mu\text{m}$ で、アレイ全幅は $100\mu\text{m}$ 程度であり、光ファイバ 3 2 のコア径 $125\mu\text{m}$ より狭くなっている。素子サイズとしては、レーザ領域長 $400\mu\text{m}$ 、SSC 領域長 $250\mu\text{m}$ 、チップ横幅 $300\mu\text{m}$ と、従来の 1 チップ半導体光素子と同等のサイズであった。また光モジュールに搭載したときの構造模式図を図 2 4 (c) に示す。SSC 構造が付加され、光の出射端でのスポットサイズを小さくできるため、アレイ全体の光出力をレンズを用いずにコア径 $125\mu\text{m}$ の光ファイバと直接結合することができた。各チャンネルの発振波長は、それぞれ、 1546.8nm 、 1548.4nm 、 1550nm 、 1551.6nm 、 1553.2nm 、 1554.8nm であり、波長のチャンネル間隔 1.6nm (200GHz) となっていた。こ

のように、本発明のスポットサイズ変換器付きDFBレーザアレイ光モジュールは、SSC構造を用いることによって、実施例6のようなSSC構造を用いない場合に比較して、光ファイバとの結合損失を3dB程度低減することができた。

【0078】前記した実施例6においては、SSC構造に、層厚がテーパー状に薄くなる層厚テーパー構造を用いた例を示した。本発明は、このような例の他に、その他のSSC構造、例えばMQW光導波路幅をテーパー状に変化させたもの、二重の光導波路を用いる等、いかなるSSC原理を用いたものでも、SSC構造が集積された半導体レーザアレイを用いた光モジュールに対して有効に採用することができる。

【0079】実施例9

高出力0.98μm帯半導体レーザアレイ光モジュール
図25に本発明の第9の実施例である、高出力0.98μm帯半導体レーザアレイ光モジュールの構成を示す。図25(a)に示すように、半導体レーザアレイは5チャンネルからなり、各チャンネルで高出力化するために、光導波路幅は後端2μm、光出射端10μmのテーパー構造となっている。チャンネル間隔は20μm、アレイ全幅は80μmである。共振器長9.00μmでチップ横幅は250μm、電流注入用電極は全チャンネル共通で、アレイ全体を一度に駆動する構成となっている。そして、全アレイの光出力は、レンズを介して、一本の光ファイバ(コア径100μm)に結合されている。また光モジュールの横断面図を図25(b)に示す。このような光モジュールの最大光出力は、1チャンネルあたり250mWであり、アレイ全体として、1Wを超える光出力をこのようなモジュールアウトで実現することができた。

【0080】本発明の実施例9において、光モジュールにレンズを用いる例を示したが、光ファイバのコア径をさらに広口径とし、かつ、レンズを使用せずに構成した、高出力0.98μm帯半導体レーザアレイ光モジュール(980nm、帯域幅±10nm)に対しても、本発明は有効である。上記した本発明の実施例9では、共振波長0.98μm帯の高出力半導体レーザアレイ光モジュールの例を示したが、本発明はその他の波長帯、例えば、2~10μm帯(2000~10,000nm帯)、1.55μm帯(1,550nm帯)、1.48μm帯(1480nm帯)、1.3μm帯(1,300nm帯)、0.2~1μm帯(200~1,000nm帯)等についても、コア径の大きな光ファイバに大光出力を結合するのに非常に有効である。特に、エルビウムドープ光ファイバ励起用光源としての、1.48μm帯高出力半導体レーザアレイの場合には、高出力特性と多波長特性を兼ね備えた、DFB構造を用いて、1.48μm帯高出力多波長DFBレーザアレイ光モジュールを構成する場合に、本発明は非常に有効である。

【0081】本発明の実施例1では、ディチューニングが適切な値(±10nm)に制御されたマイクロアレイ分布帰還(DFB)型半導体レーザの例を示したが、実施例1のDFBレーザをDBRレーザ、DRレーザ、利得結合型レーザ等に置き換えた場合においても、本発明は有効である。

【0082】本発明の実施例2では、スポットサイズ変換器付きのマイクロアレイ異波長半導体レーザの例を示したが、実施例2の半導体レーザを、回折格子を有するDFBレーザ、DBRレーザ、DRレーザ、利得結合型レーザ等に置き換えた場合においても本発明は有効である。

【0083】本発明の実施例3で示したスポットサイズ変換器付きのマイクロアレイ半導体光アンプは、光ファイバ等に低損失結合させることが可能であるため、ファイバグレーティングと組み合わせた外部共振器型の単一モードレーザを構成する場合にも全体の素子サイズを小さくすることができるため、非常に有効である。更に、石英系のプレーナライトウエーブサークキット(PLC)とも低損失結合することが可能であるので、石英系PLCとハイブリッド実装した機能デバイスを構成する場合にも、非常に有効である。例えば、文献：1997年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1、C-3-103に示されているような異なる周期の回折格子が形成された石英系のプレーナライトウエーブサークキット(PLC)と、本発明の実施例3で示したマイクロアレイ半導体光アンプをハイブリッド実装することで、従来の1/10以下の小さいサイズで、縦モードが制御された外部共振器型の異波長単一モードレーザを構成することができる。

【0084】本発明は、アレイを構成する光導波路間で伝搬光が相互干渉することによって、全体で一つの横モード、即ちスーパーモードで共振する半導体レーザアレイの作製にも非常に有効である。

【0085】また本発明は、InGaAsP/InP系以外の材料、例えばInGaAsN/GaAs系、InGaAlAs/InGaAsP系等の材料を用いた光集積素子及び、それを実現する選択成長においても有効である。本発明では、SiO₂マスクの開口幅を1.5μmとして光導波路を選択成長で形成する例について述べたが、選択成長のSiO₂マスクの開口幅をもっと広くした選択成長法に対しても有効である。

【0086】本発明の実施例6~8では、回折格子を有する縦単一モードレーザアレイの例として、DFBレーザ及びDBRレーザの例を示したが、本発明は、その他の形態の縦単一モードレーザアレイの場合にも有効である。このようなアレイとしては、例えば、分布反射(DR)型レーザアレイ、利得結合型DFBレーザアレイ、複素結合型DFBレーザアレイ、スパストラクチャーグレーティング(SSG)DBRレーザアレイ、チュー

ナブルツインガイド (TTG) 型 DFB レーザアレイ、空気 (誘電体) と半導体の回折格子を利用した DFB、DBR レーザアレイ等である。

【0087】本発明の実施例 8 において、半導体レーザに SSC を集積したアレイ光モジュールの例を示したが、本発明は、SSC を光変調器、光増幅器、受光素子等に置き換えた、他のアレイ集積光素子の場合にも非常に有効である。

【0088】また、単一の半導体レーザの動作温度をペルチェ素子でコントロールして波長可変動作させる場合、レーザの発振しきい値電流や光出力等の特性劣化を抑制しつつ可変できる波長範囲は、せいぜい 4 nm 程度 (変化温度範囲 40℃ 程度の場合) である。すなわち、半導体レーザをアレイ化して、多波長半導体レーザアレイ光モジュールを構成する場合、アレイ全体でカバーできる波長範囲が 4 nm 以上となる場合に、本発明は特に有効に使用することができる。また本発明の実施例 6 において、8 ch のアレイ全体でカバーできる波長範囲が 5.6 nm である例を示したが、たとえば本発明では、チャンネル数を減少させて、全体でカバーできる波長範囲を 4 nm 程度あるいはそれ以下とした多波長 DFB レーザアレイについても、本発明は有効である。このように、波長範囲 4 nm 以上をカバーできる多波長半導体レーザアレイ光モジュールについて、本発明は非常に有効である。なお、さらにチャンネル数を減少させれば、波長範囲が 4 nm 未満の範囲を適宜カバーすることもできる。

【0089】また、本発明においては、アレイ本数は特に限定されないが、たとえば最小アレイ数について考えてみると、最小アレイ数は 2 本とすることができる。このアレイ数 2 本の半導体レーザアレイ光モジュールとした場合、用いることのできる光ファイバの最小コア径は、最小アレイ間隔を 7 μm 程度であるとする 15 μm 程度となる。このような結果、本発明は光ファイバの口径を 15 μm 以上として設定可能であり、この場合に有効に実施可能である。

【0090】また一方、最大アレイ数については、最大アレイ数は、アレイ間隔 × (アレイ数 - 1) 程度とすることができ、たとえば光ファイバの最大コア径程度に達するまで増やすことが可能となる。特に素子の電極配置等によって、本発明は、アレイ本数 16 本以下の場合に非常に有効である。

【0091】また上記本発明の実施例 5 ~ 9 において、光ファイバに回折格子の無い例を示したが、本発明は、例えば実施例 6 の多波長半導体 FP レーザアレイと結合させる光ファイバに、ファイバブラッググレーティングのような回折格子を付加して、発振波長の単一モード安定性を高めた光モジュールに適用可能であり、本発明は、このような光モジュールに非常に有効である。

【0092】

【発明の効果】本発明によれば、誘電体薄膜の幅を特定することにより、アレイサイズを微細化し、また、アレイを構成する隣り合う光導波路間で組成及び層厚を可変にすることにより、均一な光素子特性を有する半導体光導波路アレイを実現している。これにより、本発明の半導体光導波路アレイの製造方法及びアレイ構造半導体光素子は、アレイサイズを従来の 1/10 以下に超高集積化することができるため、あらゆるアレイ構造半導体光素子の 1 ウエハからの収量を 10 倍以上向上させることが可能となり、アレイ構造半導体光素子を低コストで供給する上で非常に有益である。更に、従来の技術では、50 μm 以下のアレイ間隔で超高集積されたアレイ構造半導体光素子において、アレイを構成する各光導波路のバンドギャップエネルギーを任意に制御することは技術的に難しかったが、本発明を用いることにより、アレイを構成する各光導波路のバンドギャップエネルギーを均一変化、線形変化等、任意に制御することが可能となり、超高集積された回折格子等を有するアレイ構造半導体光素子の特性を均一化、高性能化できるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の選択成長で用いる SiO₂ 成長阻止マスクパターンを示す図である。

【図 2】各チャンネルの積層構造を示す断面図である。

【図 3】実験例 1 の MQW 層のフォトルミネッセンス (PL) ピーク波長の SiO₂ マスク幅 W_m 依存性を示すグラフである。

【図 4】実験例 1 のマスク幅 W_m に対する光導波路の層厚依存性を示すグラフである。

【図 5】実験例 2 の各チャンネルの PL ピーク波長依存性を示すグラフである。

【図 6】実験例 2 の PL スペクトルを示すグラフである。

【図 7】実験例 3 の各チャンネルの MQW 層の PL ピーク波長依存性を示すグラフである。

【図 8】実施例 1 の回折格子の配置図である。

【図 9】実施例 1 のマスクの平面図である。

【図 10】実施例 1 の半導体レーザの層構造を示す断面図である。

【図 11】実施例 2 のマスクの平面図である。

【図 12】実施例 2 のマスクの平面図である。

【図 13】実施例 2 の半導体レーザの構造を示す部分断面斜視図である。

【図 14】実施例 3 のマスクの平面図である。

【図 15】実施例 3 のマスクの平面図である。

【図 16】実施例 3 の半導体レーザの構造を示す部分断面斜視図である。

【図 17】実施例 4 の回折格子の配置図である。

【図 18】実施例 4 のマスクの平面図である。

【図 19】実施例 4 の波長選択光源の構造を示す斜視図

である。

【図20】4チャンネルの半導体レーザアレイを用いた場合の光モジュール内での光ファイバとレーザアレイの配置模式図である。

【図21】実施例5の多波長半導体FPレーザアレイ光モジュールの構造を示す図である。

【図22】実施例6の多波長半導体DFBレーザアレイ光モジュールの構造を示す図である。

【図23】実施例7の多波長半導体DBRレーザアレイ光モジュールの1チャンネルあたりの構造を示す図である。

【図24】実施例8のスポットサイズ変換器付DFBレーザアレイ光モジュールの構造を示す図である。

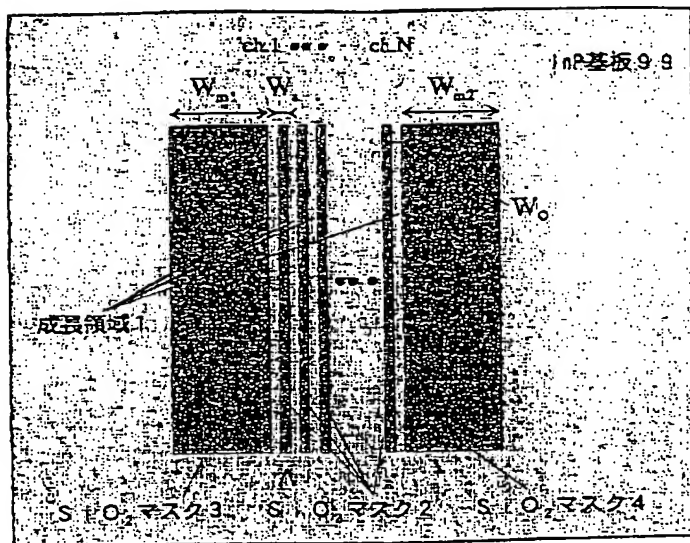
【図25】実施例9の高出力0.98 μ m帯半導体レーザアレイ光モジュールの構造を示す図である。

【符号の説明】

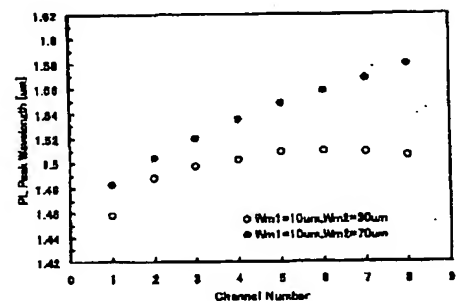
- 1 成長領域
- 2、3、4、5 SiO₂ マスク
- 11 InGaAsP層
- 12 InP層
- 13 InGaAsP層
- 14 MQW活性層
- 15 InGaAsP層
- 16 InP層
- 17 p-InPクラッド層
- 18 p⁺-InGaAsコンタクト層
- 19 SiO₂
- 20 p電極

- 21 n電極
- 22 高反射コーティング膜
- 23 低反射コーティング膜
- 24 InPバッファ層
- 25 InGaAsPバルク層
- 31 半導体レーザアレイ
- 32 光ファイバ
- 33 受光素子
- 34 ベルチエ素子
- 35 レンズ
- 36 レンズ支持体
- 37 電極
- 38 波長フィルタ
- 39 MQW活性層
- 40 回折格子
- 41 FPレーザアレイ
- 42 チューニング電極
- 43 バルク活性層
- 44 InPクラッド
- 45 DFBレーザアレイ
- 46 SSC付きDFBレーザアレイ
- 47 0.98 μ m帯半導体レーザアレイ
- 77 ダミー成長領域
- 99 InP基板
- 100 実施例1の半導体レーザ
- 200 実施例2の半導体レーザ
- 300 光アンプ
- 400 波長選択光源

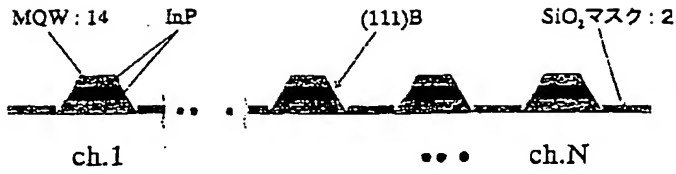
【図1】



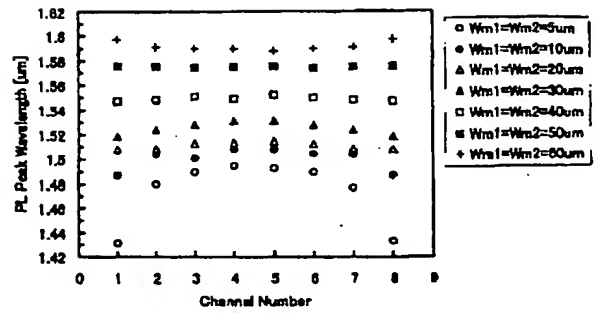
【図5】



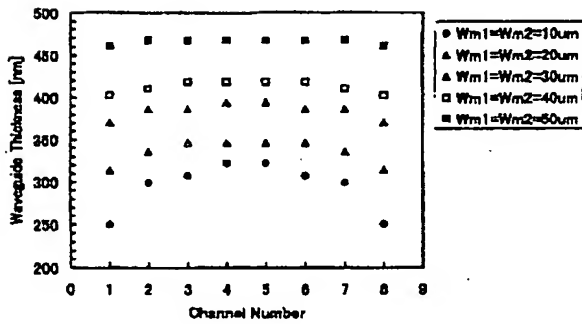
【図 2】



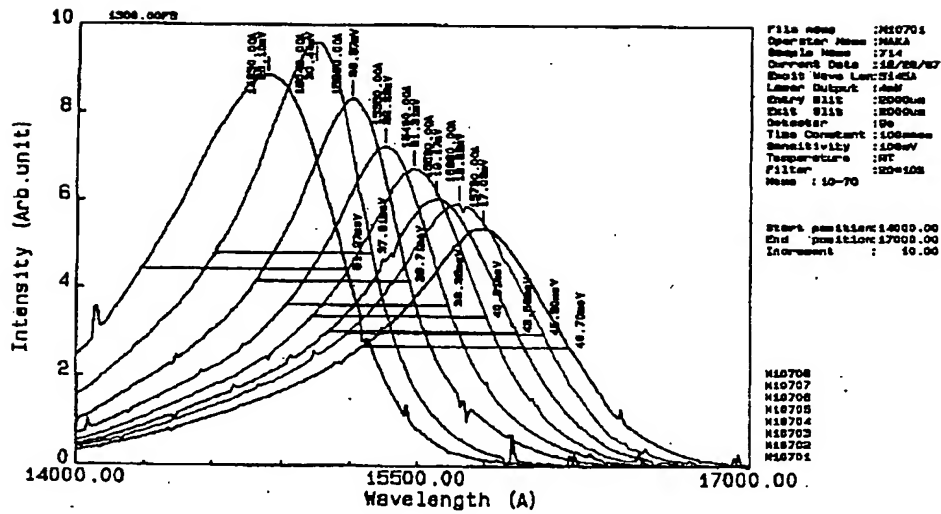
【図 3】



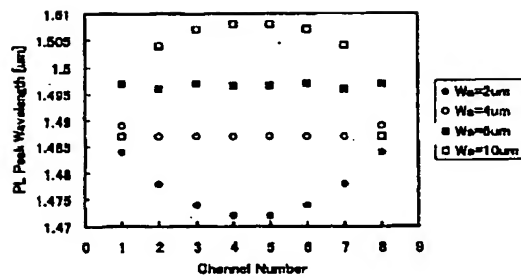
【図 4】



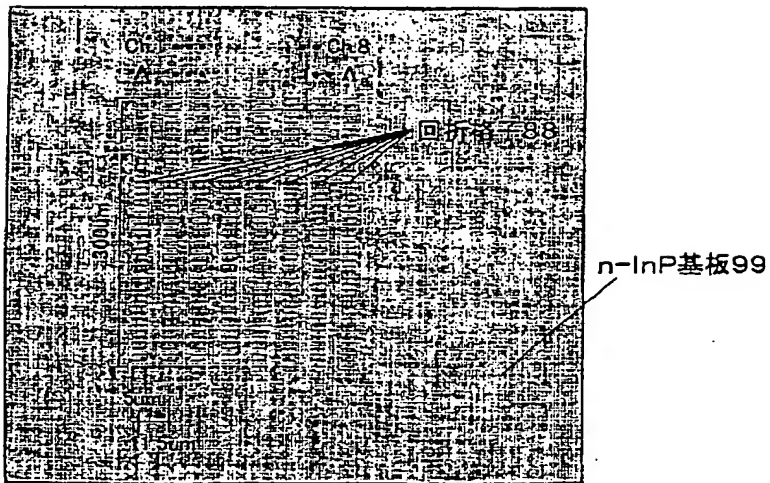
【図 6】



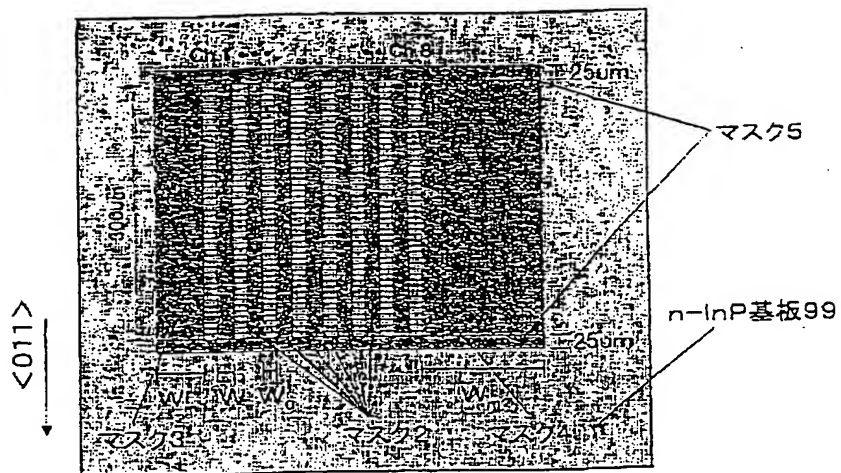
【図7】



【図8】



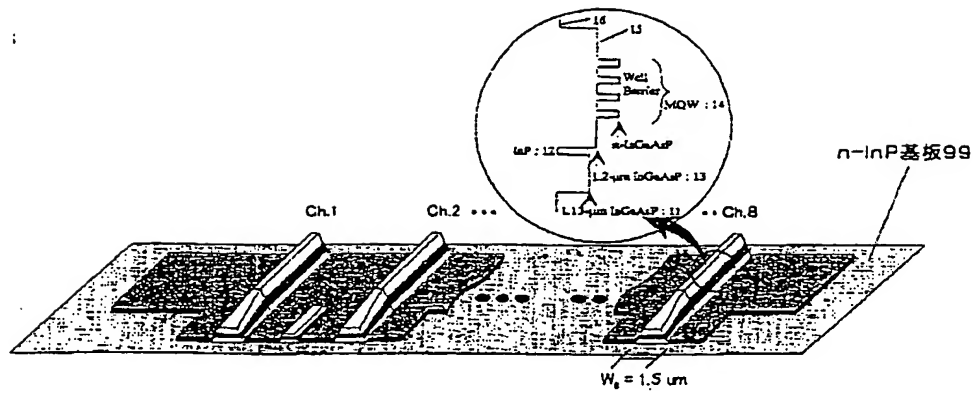
【図9】



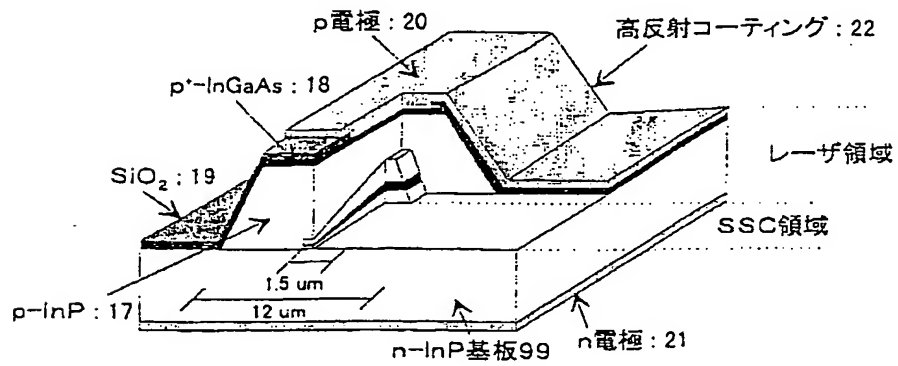
The diagram shows a cross-sectional view of a semiconductor device. The main structure consists of a substrate with an n -electrode (21) at the bottom and a p -electrode (20) at the top. The substrate is covered with a SiO_2 layer (19). The device is divided into several channels (Ch.1, Ch.2, Ch.3, Ch.7, Ch.8) by spacers (17). The channel width is indicated as 11.5 μm . A circular inset provides a magnified view of the active region, showing a $1.2\text{-}\mu\text{m}$ InGaAsP layer (13) and a $1.13\text{-}\mu\text{m}$ L-GaAsP layer (11). The inset also shows a Grating structure (12) and a Well structure (15) with a Barrier (14) and a MQW (16) layer.

Micrograph of a semiconductor device showing various regions and labels. The image includes a scale bar indicating 100 μm. Labels include: <011> (orientation), マスク2 (Mask 2), マスク3 (Mask 3), マスク4 (Mask 4), Ch.1, Ch.2, W_{m1}, W_{m2}, W_o, W₁, W₂, W₃, W₄, W₅, W₆, W₇, W₈, W₉, W₁₀, W₁₁, W₁₂, W₁₃, W₁₄, W₁₅, W₁₆, W₁₇, W₁₈, W₁₉, W₂₀, W₂₁, W₂₂, W₂₃, W₂₄, W₂₅, W₂₆, W₂₇, W₂₈, W₂₉, W₃₀, W₃₁, W₃₂, W₃₃, W₃₄, W₃₅, W₃₆, W₃₇, W₃₈, W₃₉, W₄₀, W₄₁, W₄₂, W₄₃, W₄₄, W₄₅, W₄₆, W₄₇, W₄₈, W₄₉, W₅₀, W₅₁, W₅₂, W₅₃, W₅₄, W₅₅, W₅₆, W₅₇, W₅₈, W₅₉, W₆₀, W₆₁, W₆₂, W₆₃, W₆₄, W₆₅, W₆₆, W₆₇, W₆₈, W₆₉, W₇₀, W₇₁, W₇₂, W₇₃, W₇₄, W₇₅, W₇₆, W₇₇, W₇₈, W₇₉, W₈₀, W₈₁, W₈₂, W₈₃, W₈₄, W₈₅, W₈₆, W₈₇, W₈₈, W₈₉, W₉₀, W₉₁, W₉₂, W₉₃, W₉₄, W₉₅, W₉₆, W₉₇, W₉₈, W₉₉, W₁₀₀. Other labels include: 77成長領域 (77 Growth Region), SSG領域 (SSG Region), レーザ領域 (Laser Region), and 100 μm.

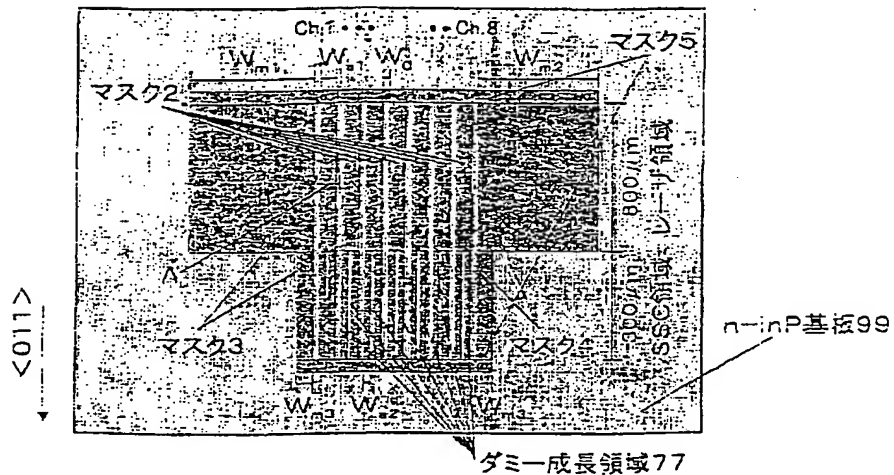
【図12】



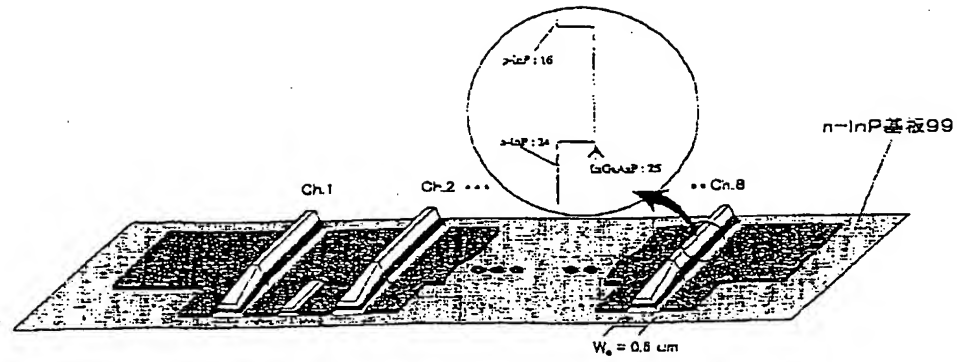
【図13】



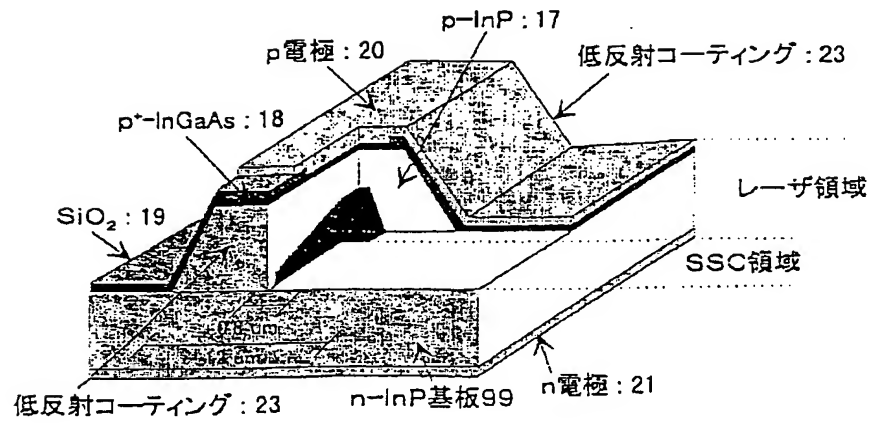
【図14】



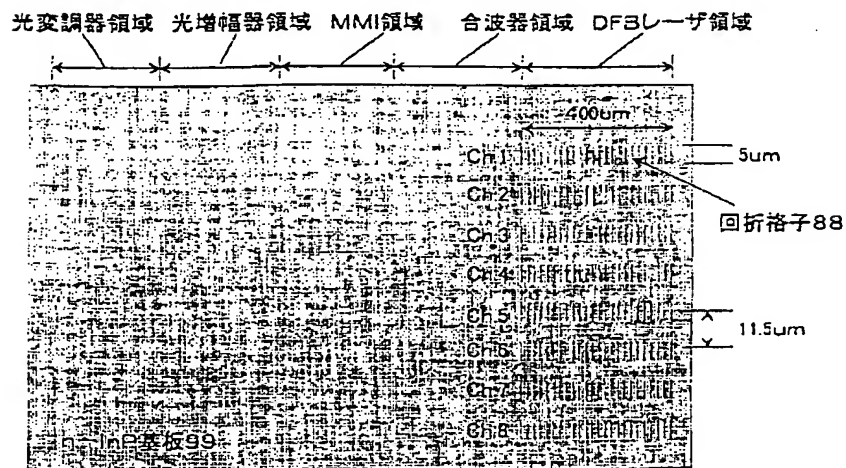
【図15】



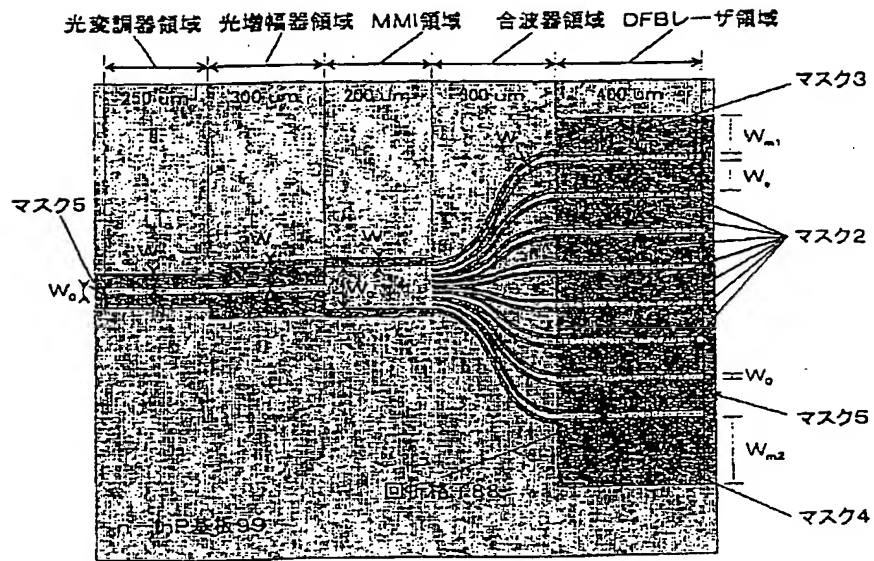
【図16】



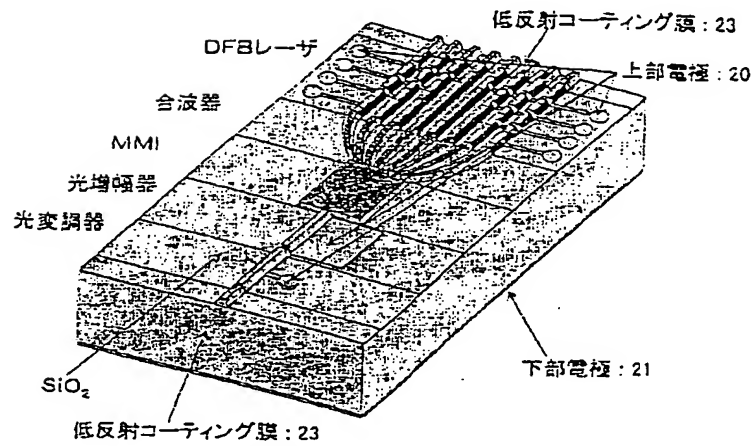
【図17】



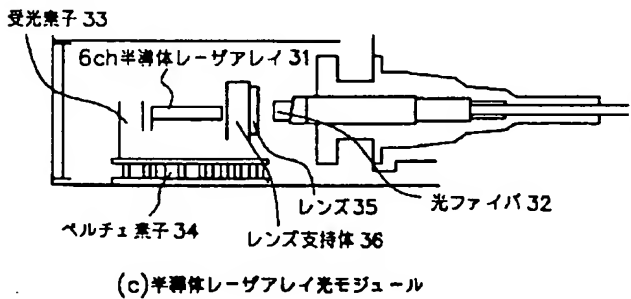
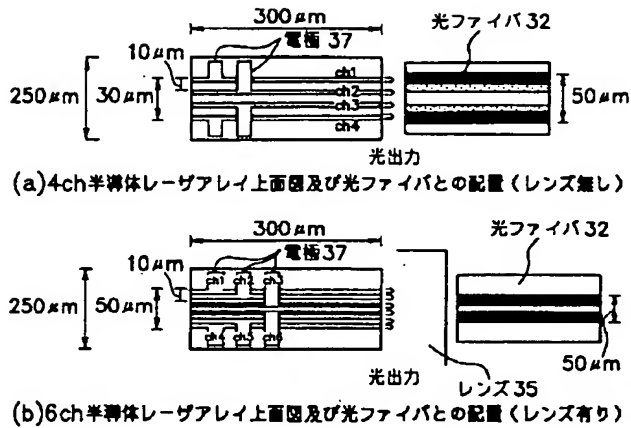
【図18】



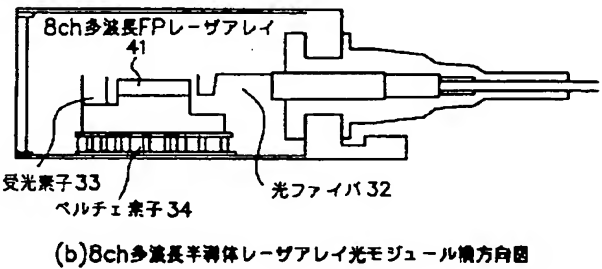
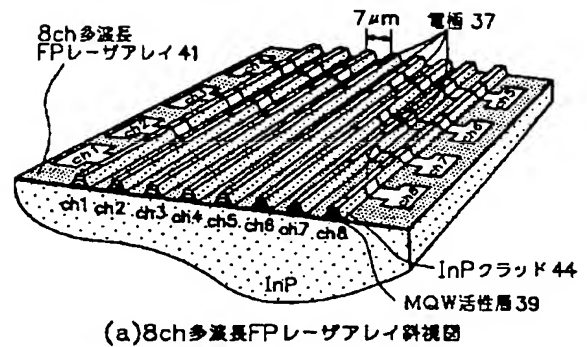
【図19】



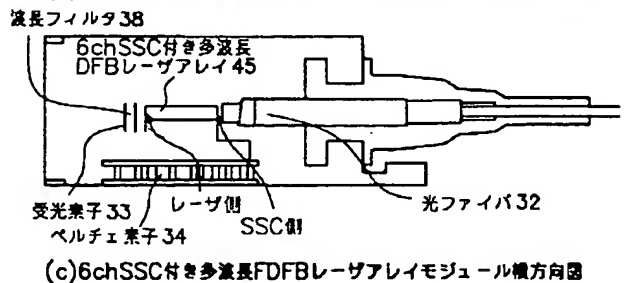
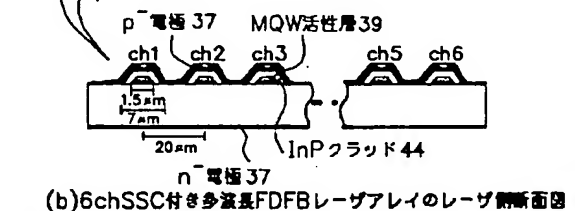
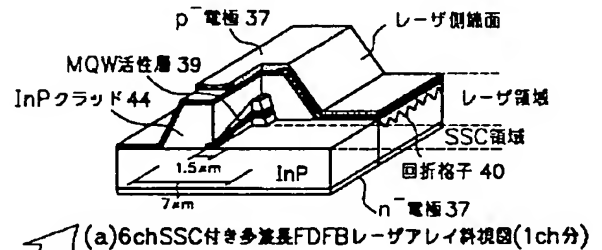
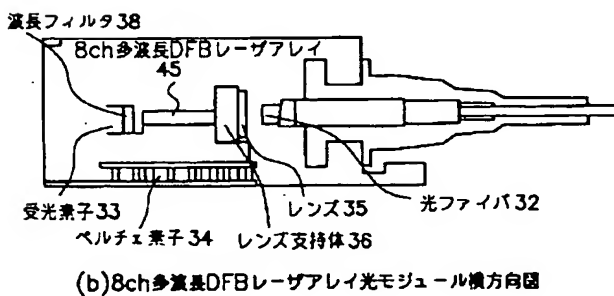
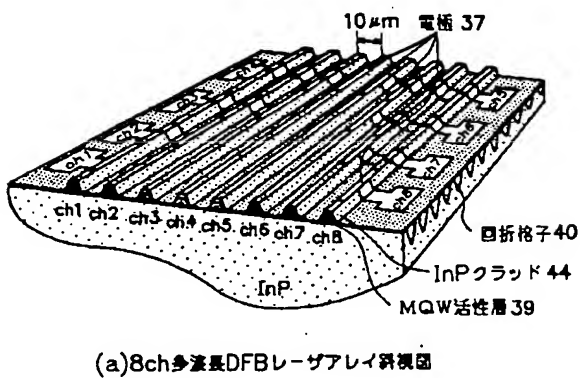
【図20】



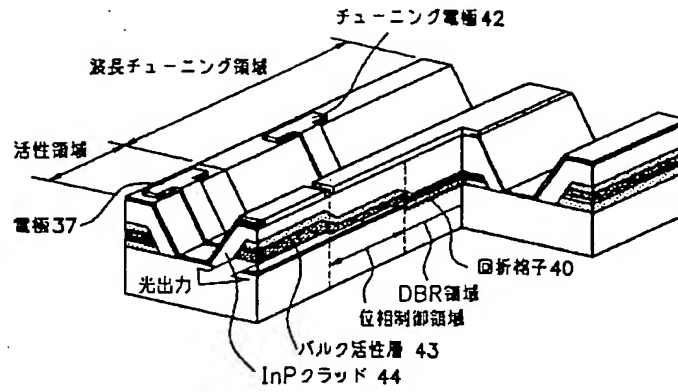
【図21】



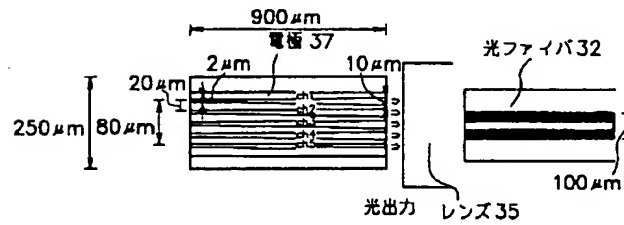
【図22】



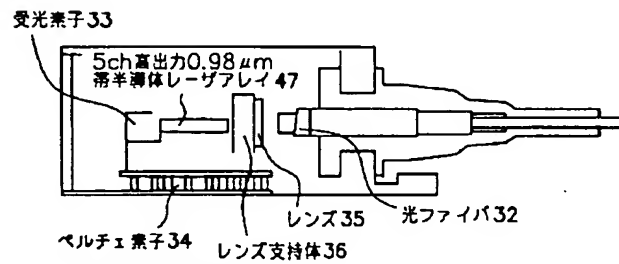
【図23】



【図25】



(a) 5ch高出力0.98 μm帯半導体レーザレイ
上面図及び光ファイバとの配置



(b) 高出力0.98 μm帯半導体レーザレイ光モジュール